



**TUGAS AKHIR - RF-141501**

**IDENTIFIKASI PERSEBARAN AIR LINDI DI TPA NGIPIK  
KABUPATEN GRESIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER**

**AHMAD QOMARUDDIN ARSYADI**  
NRP. 3713 100 019

Dosen Pembimbing :  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**TUGAS AKHIR - RF-141501**

**IDENTIFIKASI PERSEBARAN AIR LINDI DI TPA NGIPIK  
KABUPATEN GRESIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER**

**AHMAD QOMARUDDIN ARSYADI**  
NRP. 3713 100 019

Dosen Pembimbing :  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



**UNDERGRADUATE THESIS - RF-141501**

**IDENTIFICATION OF LEACHATE MIGRATION AT NGIPIK  
LANDFILL GRESIK USING 2D RESISTIVITY WENNER-  
SCHLUMBERGER ARRAY**

**AHMAD QOMARUDDIN ARSYADI**  
NRP. 3713 100 019

Supervisor:  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001

**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT**  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

**IDENTIFIKASI PERSEBARAN AIR LINDI DI TPA NGIPIK  
KABUPATEN GRESIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Departemen Teknik Geofisika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 6 Juli 2017

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Dr. Dwa Desa Warnana

NIP. 19760123 200003 1 001

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Geofisika Teknik dan Lingkungan

Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si  
NIP. 19591010 198803 1 002

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “IDENTIFIKASI PERSEBARAN AIR LINDI DI TPA NGIPIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 6 Juli 2017

Ahmad Qomaruddin Arsyadi  
NRP. 3713 100 019

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **IDENTIFIKASI PERSEBARAN AIR LINDI DI TPA NGIPIK KABUPATEN GRESIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER**

Nama : Ahmad Qomaruddin Arsyadi  
NRP : 3713 100 019  
Departemen : Teknik Geofisika  
Pembimbing : Dr. Dwa Desa Warnana

## **ABSTRAK**

TPA Ngipik dalam perencanaannya dibuat dalam bentuk *Sanitary Landfill*. Namun realita yang terjadi ialah penerapan sistem *Open Dumping*. Hal ini membuat pencemaran mudah terjadi baik pencemaran tanah, air dan udara. Penelitian ini berfokus pada pencemaran air tanah yang berupa resapan dan persebaran air lindi di bawah permukaan. Telah dilakukan pengukuran Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner-Schlumberger sebanyak 7 lintasan pada musim kemarau dan musim penghujan untuk mengidentifikasi persebaran air lindi dan untuk mengetahui pola persebaran air lindi pada setiap musim. Pengukuran parameter air tanah dan uji resistivitas skala laboratorium juga telah dilakukan. Hasil pengolahan resistivitas 2D telah diverifikasi dengan hasil pengukuran parameter air tanah dan analisa resistivitas skala laboratorium untuk mendapatkan interpretasi kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 7 lintasan yang diteliti, 6 lintasan teridentifikasi adanya persebaran air lindi dan hanya lintasan 3 yang belum teridentifikasi persebaran air lindi. Nilai resistivitas hasil inversi yang diinterpretasikan sebagai sebaran air lindi ialah 0.1 – 1.5  $\Omega$ m. Persebaran air lindi memiliki pola dari Tenggara – Barat Laut mengikuti kontur elevasi muka air tanah.

**Kata Kunci** : TPA Ngipik, Air Lindi, Resistivitas

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **IDENTIFICATION OF LEACHATE MIGRATION AT NGIPIK LANDFILL GRESIK USING 2D RESISTIVITY WENNER- SCHLUMBERGER ARRAY**

Name : Ahmad Qomaruddin Arsyadi  
NRP : 3713 100 019  
Department : Geophysical Engineering  
Supervisor : Dr. Dwa Desa Warnana

## **ABSTRACT**

Ngipik Landfill in the planning will be made in sanitary landfill system. In the reality, that landfill uses open dumping system. This problem makes contamination occur easily, both pollution of soil, water and air. Seven acquisition lines geoelectrical measurement with wenner-schlumberger array have been done during the dry season and wet season to identify and to know the direction and pattern of leachate migration at each season. Groundwater parameter measurements and laboratory resistivity tests have also been performed. 2D resistivity inversion results have been verified with groundwater measurement and laboratory resistivity tests to obtain a quantitative interpretation. The results showed that of the 7 line measured, 6 line were identified a leachate migration and just 3<sup>rd</sup> had not been found a leachate migration. Resistivity value that interpreted to leachate migration is 0.1 – 1.5  $\Omega$ m. Leachate migration have direction from Southeast to Northwest following the contour of ground water elevation.

**Keywords** : Ngipik Landfill, Leachate, Resistivity

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan Judul :

### **“IDENTIFIKASI PERSEBARAN AIR LINDI DI TPA NGIPIK KABUPATEN GRESIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER”**

Penelitian Tugas Akhir ini meliputi pengukuran metode Resistivitas 2D di lapangan, pengukuran kualitas air, pengujian resistivitas skala laboratorium dan penggunaan data sekunder berupa data hasil pemboran dan data curah hujan. Data-data tersebut kemudian dikorelasikan untuk mengidentifikasi persebaran air lindi di TPA Ngipik.

Dengan selesainya penulisan Laporan Tugas Akhir ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua dan keluarga atas limpahan doa, kasih sayang dan teladan hidup bagi penulis.
2. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Seluruh staf pengajar dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Geofisika.
4. Tim Lindi TPA Ngipik yang telah membantu menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.
5. Saudari Nila yang telah mendukung pendanaan penelitian tugas akhir melalui dana penelitian Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU)
6. Dulur TG02 yang selalu mendukung dari mulai dukungan fisik hingga dukungan moral.
7. Semua pihak yang telah membantu dari mana saja dan tidak dapat disebutkan penulis satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan sebagai modal pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Surabaya, 6 Juli 2017

Penulis

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	5
2.2 Kondisi TPA Ngipik .....	7
2.3 Air Lindi .....	9
2.4 Sifat Kelistrikan Batuan dan Material.....	11
2.5 Metode Resistivitas 2D .....	12
2.5.1 Potensial Listrik Medium Homogen.....	13
2.5.1.1 Kasus Satu Titik .....	13
2.5.1.2 Kasus Dua Titik.....	15
2.5.2 Konfigurasi Elektroda dan Faktor Geometri .....	16
2.5.2.1 Konfigurasi Wenner-Schlumberger.....	17
2.5.3 Teori Inversi RES2DINV .....	19
2.6 Hasil Kajian Terdahulu tentang Geolistrik untuk TPA .....	20
BAB III METODE PENELITIAN .....	25
3.1 Konsep dan Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2 Lokasi Penelitian .....	28
3.3 Peralatan dan Data .....	28
3.4 Desain Akuisisi .....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1 Analisa Data Sekunder.....	33
4.1.1 Curah Hujan Daerah Penelitian .....	33
4.1.2 Data Hasil Pemboran .....	35
4.2 Elevasi Muka Air Tanah .....	37
4.3 Hasil Uji Sampel Air.....	38
4.4 Hasil Uji Laboratorium (Uji Resistivitas).....	41
4.5 Analisis Penampang 2-Dimensi .....	46

4.5.1	Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 1 .....	46
4.5.2	Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 2 .....	47
4.5.3	Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 3 .....	48
4.5.4	An alisis Penampang Resistivitas Lintasan 4 .....	49
4.5.5	Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 5 .....	50
4.5.6	Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 6 .....	51
4.5.7	Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 7 .....	52
4.6	Analisis Penampang Beda Resistivitas .....	53
4.7	Analisis Penampang 3-Dimensi .....	56
4.8	Pembahasan Umum.....	60
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>63</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>67</b>
A.	Dokumentasi.....	67
B.	Data Penelitian .....	73
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>89</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Area Penelitian .....	5
Gambar 2.2 Penampang <i>Cross-Section</i> hasil irisan .....	5
Gambar 2.3 Geologi Area Penelitian.....	6
Gambar 2.4 Denah Kawasan TPA Ngipik.....	7
Gambar 2.5 Instalasi Pengolahan Air Limbah.....	8
Gambar 2.6 Aliran air lindi yang tidak terkontrol .....	8
Gambar 2.7 Lokasi Pembuangan Sampah Bagian Utara .....	9
Gambar 2.8 Konsep Metode Geolistrik .....	12
Gambar 2.9 Konsep Pengukuran Metode Resistivitas 2D.....	13
Gambar 2.10 (A) Ilustrasi 3-Dimensi Penjalaran Satu Titik Arus pada Medium Homogen, (B) Peluruhan Potensial dari Elektroda .....	14
Gambar 2.11 Arus dan Ekuipotensial Hasil Injeksi.....	15
Gambar 2.12 Bentuk Konfigurasi Elektroda .....	15
Gambar 2.13 Konfigurasi Metode Geolistrik .....	16
Gambar 2.14 Posisi Elektroda Konfigurasi Wenner-Schlumberger .....	17
Gambar 2.15 <i>Stacking Chart</i> Konfigurasi Wenner Schlumberger .....	17
Gambar 2.16 Sensitivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger.....	18
Gambar 2.17 Hubungan <i>model cells</i> dengan <i>roughness filter</i> pada model 2-D. (a) berarah horisotal dan vertikal, (b) berarah diagonal.....	19
Gambar 2.18 Penampang Resistivitas TPA Temesi, Bali .....	21
Gambar 2.19 Penampang Resistivitas TPA Lapite, Ibadan, Nigeria.....	22
Gambar 2.20 Penampang Resistivitas Ibadan Dumpsite .....	22
Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	26
Gambar 3.3 Lokasi Penelitian .....	28
Gambar 3.4 (a) Resistivimeter, (b) Alat Pengukur Uji Kualitas Air .....	29
Gambar 3.5 Desain Akuisisi Lapangan .....	30
Gambar 3.6 Lokasi Sumur.....	31
Gambar 4.1 Curah Hujan Kumulatif di Pos Suci Manyar Gresik, dari tahun 2007-2016.....	33
Gambar 4.2 Grafik Curah Hujan Kumulatif Rentang Waktu Penelitian .....	34
Gambar 4.3 Hasil Bor Sawah .....	36
Gambar 4.4 Kontur Elevasi Muka Air Tanah.....	37
Gambar 4.5 Overlay Kontur Elevasi Muka Air Tanah dengan area TPA Ngipik .....	38
Gambar 4.6 Kontur Arah Aliran.....	38
Gambar 4.7 (a) Sampel tanah, (b) Perlakuan pada sampel A dan B, dan (c) Konfigurasi Pengujian Resistivitas.....	42

Gambar 4.8 Grafik Perubahan Resistivitas terhadap Kandungan (a) Aquades dan (b) Air Lindi .....	44
Gambar 4.9 Penampang Resistivitas Lintasan 1, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan.....	46
Gambar 4.10 Penampang Resistivitas Lintasan 2, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan.....	47
Gambar 4.11 Penampang Resistivitas Lintasan 3, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan.....	48
Gambar 4.12 Penampang Resistivitas Lintasan 4, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan.....	49
Gambar 4.13 Penampang Resistivitas Lintasan 5, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan.....	50
Gambar 4.14 Penampang Resistivitas Lintasan 6, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan.....	51
Gambar 4.15 Penampang Resistivitas Lintasan 7, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan.....	52
Gambar 4.16 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 1 .....	53
Gambar 4.17 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 2 .....	54
Gambar 4.18 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 3 .....	54
Gambar 4.19 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 4 .....	54
Gambar 4.20 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 5 .....	55
Gambar 4.21 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 6 .....	55
Gambar 4.22 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 7 .....	56
Gambar 4.23 Penampang 3D 4 lintasan Musim Kemarau .....	56
Gambar 4.24 Penampang 3D 4 lintasan Musim Penghujan .....	57
Gambar 4.25 <i>Overlay</i> Penampang 3D Musim Kemarau dengan Kontur Elevasi Muka Air Tanah .....	58
Gambar 4.26 <i>Overlay</i> Penampang 3D Kemarau dengan Kontur TDS.....	58
Gambar 4.27 <i>Overlay</i> Penampang 3D Musim Penghujan dengan Peta Kontur Elevasi Muka air Tanah.....	59
Gambar 4.28 <i>Overlay</i> Penampang 3D Musim Penghujan dengan Peta Kontur TDS .....	59
Gambar A-1 Pengukuran Lintasan 1 .....	67
Gambar A-2 Pengukuran Lintasan 2 .....	67
Gambar A-3 Pengukuran Lintasan 3 .....	68
Gambar A-4 Pengukuran Lintasan 4 .....	68
Gambar A-5 Pengukuran Lintasan 5 .....	69
Gambar A-6 Pengukuran Lintasan 6 .....	69
Gambar A-7 Pengukuran Lintasan 7 .....	70
Gambar A-8 Pengujian Resistivitas Sampel Tanah .....	71

Gambar A-9 Pemboran Pipa Sampel Tanah (kiri), Penetesan Cairan Air Lindi dan Aquades (kanan) .....	71
Gambar B-1 Penampang Hasil Inversi Lintasan 1 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan .....	73
Gambar B-2 Penampang Hasil Inversi Lintasan 2 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan .....	74
Gambar B-3 Penampang Hasil Inversi Lintasan 3 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan .....	75
Gambar B-4 Penampang Hasil Inversi Lintasan 4 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan .....	76
Gambar B-5 Penampang Hasil Inversi Lintasan 5 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan .....	77
Gambar B-6 Penampang Hasil Inversi Lintasan 6 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan .....	78
Gambar B-7 Penampang Hasil Inversi Lintasan 7 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan .....	79
Gambar B-8 Penampang Beda Resistivitas (a) Lintasan 1, (b) Lintasan 2 ....	80
Gambar B-9 Penampang Beda Resistivitas (a) Lintasan 3, (b) Lintasan 4 .....	81
Gambar B-10 Penampang Beda Resistivitas (a) Lintasan 5, (b) Lintasan 6 ...	82
Gambar B-11 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 7 .....	83
Gambar B-12 Penampang 3D Musim Kemarau .....	84
Gambar B-13 Penampang 3D Musim Penghujan .....	85
Gambar B-14 Curah Hujan Kumulatif Tahun 2007-2016 .....	86
Gambar B-15 Usulan Penempatan Sumur Monitoring .....	87

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Air Lindi.....	10
Tabel 2.2 Nilai Resistivitas Limbah.....	11
Tabel 2.3 Tabel Resistivitas Batuan.....	12
Tabel 2.4 Kajian Terdahulu tentang Air Lindi dengan Geolistrik .....	23
Tabel 3.1 Data Lintasan Pengukuran .....	31
Tabel 3.2 Data Koordinat UTM Lokasi Sumur .....	31
Tabel 4.1 Analisa Hasil Pemboran Tanah.....	35
Tabel 4.2 Data Elevasi Sumur Monitoring dan Sumur Bor .....	37
Tabel 4.3 Data Hasil Uji Sampel Air (25 Agustus 2016) .....	39
Tabel 4.4 Data Hasil Uji Sampel Air (28 Januari 2017) .....	39
Tabel 4.5 Parameter Pembuatan Sampel .....	41
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Resitivitas .....	43
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Prosentase Kandungan Air dan Resistivitas .....	43
Tabel 4.8 Persamaan Resistivitas dari <i>Water Content</i> .....	45
Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Resistivitas dari Persamaan .....	45

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur, pelayanan sampah ditangani oleh badan tertentu yakni Badan Lingkungan Hidup. Sistem pengangkutan sampah di Kabupaten Gresik yakni sampah dari sumber sampah yang volumenya  $< 1 \text{ m}^3$  dibuang ke TPS dan selanjutnya diangkut ke TPA oleh *arm roll truck* dan atau *dump truck*. Sampah yang diangkut dari TPS kemudian langsung dibuang ke TPA di area Gresik, salah satunya adalah TPA Ngipik. TPA Ngipik berada di area lahan milik PT Semen Indonesia Tbk, berada di kawasan Industri Petrokimia, yang dipinjam pakai oleh Badan Lingkungan Hidup (BLH). Area yang digunakan sebagai lahan TPA yakni seluas 6 Ha (4 Ha sebagai lahan pembuangan dan 2 Ha sebagai sarana prasarana pendukung kegiatan di TPA). Namun saat ini kondisinya sudah semakin penuh dan mulai dibuka lagi lahan pembuangan sampah di dalam area tersebut. Sistem yang dipakai di TPA Ngipik sendiri dalam perencanaan sebenarnya adalah sistem *Sanitary Landfill*, namun dalam praktek lapangannya akhirnya dipergunakan sistem *Open Dumping* (BAPPEDA Kabupaten Gresik, 2016).

*Sanitary Landfill* merupakan sebuah sistem pengelolaan dan pengolahan sampah dengan wadah cekungan yang memiliki persyaratan tertentu diantaranya jenis tanah, porositas tanah, dan pada dasar cekungan harus ada lapisan penahan resapan lindi serta instalasi saluran dan pengolahan air lindi. Sedangkan sistem *Open Dumping* merupakan sistem pengelolaan sampah yang terbuka tanpa ada pembuatan wadah tertentu, sampah dibuang hingga menumpuk dan menggunung di area tertentu tanpa adanya lapisan pada dasar permukaan tanah serta saluran air lindinya. Dampak penggunaan sistem *Open Dumping* ini adalah terjadinya pencemaran air tanah akibat adanya resapan air lindi ke bawah permukaan. (Widyatmoko & Moerdjoko, 2002).

Area TPA Ngipik sendiri kurang strategis untuk dijadikan lahan pembuangan sampah. TPA Ngipik yang berada di area PT Semen Indonesia Tbk berdekatan langsung dengan dua telaga Ngipik yang notabene juga menjadi supply air bagi pabrik maupun bagi konsumsi masyarakat di sekitarnya. Selain itu TPA Ngipik sangat berdekatan sekali dengan area-area persawahan milik masyarakat sekitar. Kondisi di atas menjadi dasar penelitian ini dilakukan agar dapat diketahui persebaran resapan air lindi ke arah mana dan sejauh mana. Serta dilakukan pada dua musim yang berbeda untuk mengetahui perbedaan polanya.

Dalam penelitian ini digunakan metode Resistivitas 2D dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger. Penggunaan metode Resistivitas 2D ini terbukti dapat mendeteksi persebaran air lindi pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Parlainggonan (2011) di TPA Kelurahan Sumur Batu Bekasi,

Putra (2012) di TPA Temesi Bali dan juga Lopes et.al (2012) di *Sardas Landfill* Spanyol. Konsep metode Resistivitas 2D ialah menginjeksikan arus listrik ke bawah permukaan bumi melalui satu atau dua elektroda arus dan diukur nilai beda potensial pada titik tertentu. Dari dua data tersebut nanti akan bisa didapatkan nilai tahanan jenis bawah permukaan. Tahanan jenis inilah yang menjadi konsep dasar pengukuran metode Resistivitas 2D. Digunakan metode Resistivitas 2D dikarenakan salah satu sifat fisik dari air yang khususnya air lindi adalah konduktivitas listrik. Air lindi yang bersifat sangat konduktif akan menjadi anomali di area sekitarnya dengan nilai tahanan jenis yang rendah. Sehingga dengan prinsip penjalaran listrik pada material nantinya dapat diketahui persebaran air lindi pada area pembuangan tersebut. Konfigurasi Wenner-Schlumberger pada penelitian ini juga dikarenakan konfigurasi ini memiliki keunggulan dalam memetakan distribusi nilai resistivitas secara lateral sekaligus vertikal. Penggunaan konfigurasi Wenner-Schlumberger ini juga sudah terbukti memberikan hasil yang baik pada penelitian yang dilakukan oleh Parlainggonan (2011), Putra (2012) dan Lopes et.al (2012).

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dari latar belakang yang sudah ada di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana mengidentifikasi persebaran air lindi pada TPA Ngipik Kabupaten Gresik dengan metode Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner-Schlumberger?
2. Bagaimana pola persebaran air lindi yang terjadi di area TPA Ngipik Kabupaten Gresik?
3. Bagaimana perbandingan hasil pengukuran Resistivitas 2D pada musim kemarau (Bulan Agustus 2016) dengan musim penghujan (Bulan Januari 2017) dan pola persebaran air lindinya?

## **1.3 Batasan Masalah**

Dari rumusan masalah yang sudah didapatkan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pengukuran dengan metode Resistivitas 2D hanya dilakukan dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger.
2. Pengukuran Resistivitas 2D hanya dilakukan di area TPA Ngipik Kabupaten Gresik.
3. Pengukuran dilakukan pada dua musim berbeda yakni satu kali pada musim kemarau (Bulan Agustus 2016) dan satu kali pada musim penghujan (Bulan Januari 2017).

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi persebaran air lindi pada TPA Ngipik Kabupaten Gresik.
2. Mengetahui pola persebaran air lindi yang terjadi di area TPA Ngipik Kabupaten Gresik.
3. Mendapatkan perbandingan pola persebaran air lindi Resistivitas 2D pada musim kemarau (Bulan Agustus 2016) dengan musim penghujan (Bulan Januari 2017).

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan didapatkan dari pelaksanaan penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Dapat memberikan gambaran pola persebaran dan capaian kedalaman rembesan dari air lindi.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pengelolaan air lindi dan perencanaan pengembangan TPA secara umum.
3. Sebagai sarana penginformasian kondisi penyebaran rembesan air lindi di kawasan TPA Ngipik.

## **1.6 Sistematika Penulisan Laporan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir disusun untuk mempermudah dalam memahami struktur dan isi laporan tugas akhir ini. Penulisan laporan dibagi menjadi tiga bagian utama yakni bagian pendahuluan, bagian isi dan bagian akhir laporan. Berikut penjelasan singkat pada masing-masing bagian.

- Bagian awal

Bagian awal laporan tugas akhir terdiri dari halaman judul, lembar pengesahan, pernyataan keaslian tugas akhir, abstrak, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel.

- Bagian isi

Bagian isi laporan akhir terdiri dari :

- BAB I**      Pendahuluan terdiri dari latar belakang pelaksanaan penelitian, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian, batasan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan.
- BAB II**      Tinjauan Pustaka terdiri dari kajian wilayah meliputi kajian geologi dan kondisi terkini, dasar tentang air lindi, dasar metode Resistivitas 2D, serta penelitian terdahulu penggunaan metode Resistivitas 2D dalam kajian tentang sebaran air lindi.

- BAB III Metode Penelitian terdiri dari konsep dan diagram alir penelitian, waktu dan tempat penelitian, peralatan dan data, serta desain penelitian.
- BAB IV Hasil dan Pembahasan terdiri dari hasil penelitian beserta analisa dan pembahasannya.
- BAB V Penutup terdiri dari kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

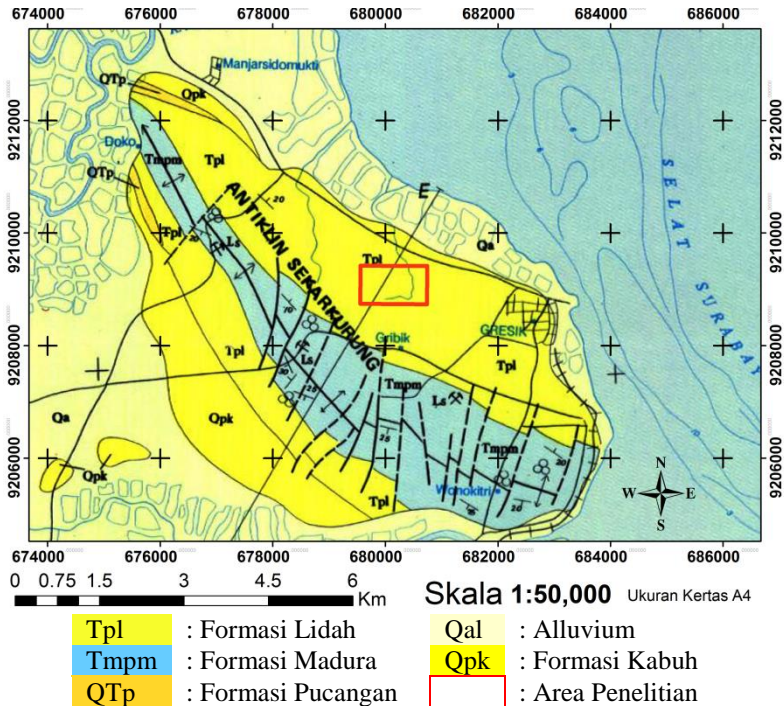
- Bagian akhir

Bagian akhir laporan terdiri dari daftar pustaka yang digunakan sebagai literatur dan referensi penulisan serta lampiran yang berisikan dokumentasi penelitian, data penelitian, penampang tiap lintasan dalam ukuran besar serta hal-hal lain yang tidak bisa dicantumkan dalam bagian lainnya.

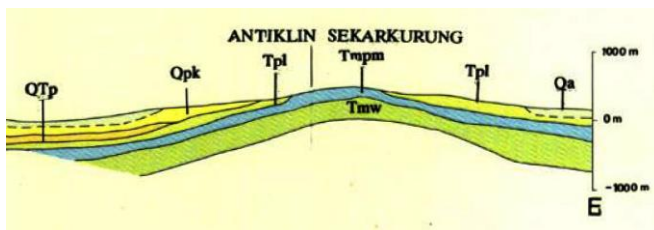
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Wilayah Gresik masuk ke dalam peta geologi lembar Surabaya-Sapulu di mana pada wilayah Gresik terdapat struktur antiklin Sekarkurung. Pada Gambar 2.1, terlihat bahwa Antiklin ini memiliki arah Barat Laut – Tenggara dengan sesar-sesar yang cukup kompleks.

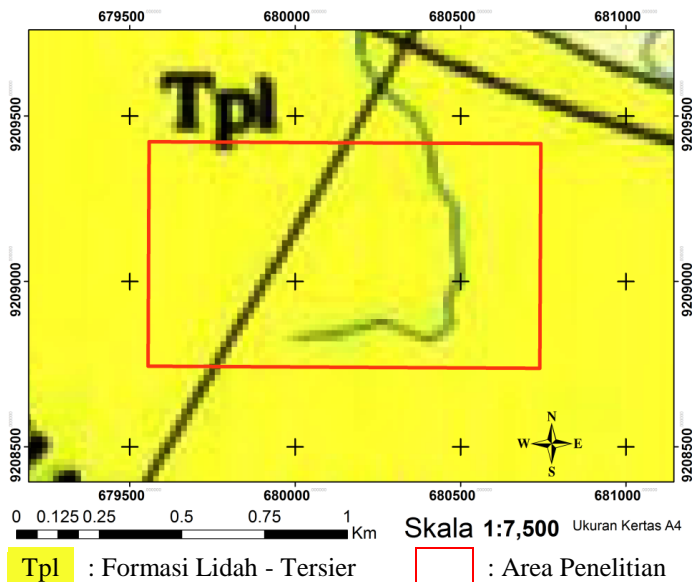


Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Area Penelitian (Sukardi, 1992)



Gambar 2.2 Penampang *Cross-Section* hasil irisan (Sukardi, 1992)

Pada peta geologi tersebut, dilakukan pengirisan struktur yang penampangnya terlihat pada Gambar 2.2 di atas. Formasi dari tua ke muda di bagian sayap Timur Laut antiklin adalah Formasi Madura dengan umur Tersier, Formasi Lidah dengan umur Tersier, Alluvium dengan umur Quarter. Sedangkan pada bagian sayap Barat Daya antiklin, urutan tua ke muda ialah Formasi Madura dengan umur Tersier, Formasi Lidah dengan umur Tersier, Formasi Pucangan dengan umur Quarter, Formasi Kabuh dengan umur Quarter serta Alluvium dengan umur Quarter. Hal ini menunjukkan bahwa pengendapan pada zaman Quarter terjadi setelah terbentuknya Antiklin Sekarkurung dimana pada area Barat Daya antiklin mendapatkan suplai endapan dari Formasi Pucangan dan Kabuh yang tidak terdapat di bagian Timur Laut antiklin (Sukardi, 1992).

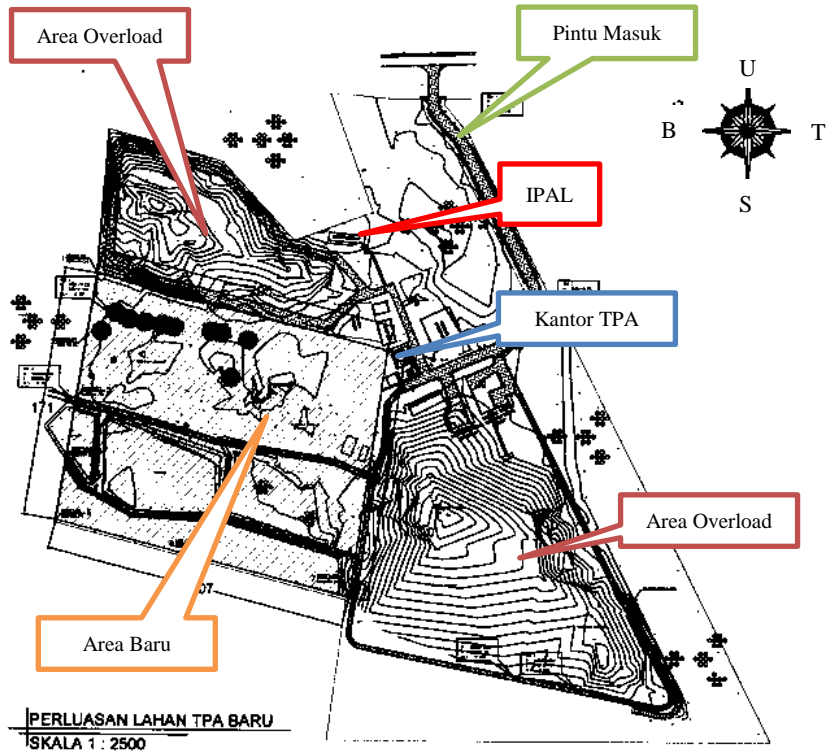


Gambar 2.3 Geologi Area Penelitian (Sukardi, 1992)

TPA Ngipik berada di dalam Formasi Lidah (Gambar 2.3) dengan umur Quarter, tersusun atas batulempung biru, batulempung kehitaman, pejal dan keras bila kering, sedikit kandungan fosil serta batulempung pasir. Karakteristik dari Formasi Lidah ini ialah memiliki kandungan lempung pada lapisan dengan cukup tebal, terlihat di lapangan dan data hasil pemboran yang menunjukkan bahwa area penelitian didominasi oleh lempung (Sukardi, 1992). Pada terdapat garis hitam memotong dengan arah Barat Daya – Timur Laut yang merupakan garis irisan *cross-section* yang terdapat pada Gambar 2.2. Sedangkan garis hitam dengan arah cenderung Timur – Barat merupakan jalan raya. Tanda kotak merah merupakan posisi area penelitian di TPA Ngipik.

## 2.2 Kondisi TPA Ngipik

TPA Ngipik merupakan salah satu TPA yang besar di wilayah Kabupaten Gresik. Namun lahan yang digunakan untuk pembuangan akhir bukan merupakan lahan milik pemerintah daerah, melainkan lahan pinjam pakai dari PT Semen Indonesia Tbk yang berada di kawasan Industri Petrokimia. Area yang digunakan sebagai lahan TPA yakni seluas 6 Ha, seluas 4 Ha sebagai lahan pembuangan dan seluas 2 Ha sebagai sarana prasarana pendukung kegiatan di TPA (BAPPEDA Kabupaten Gresik, 2016).



Gambar 2.4 Denah Kawasan TPA Ngipik (Sumber : Kantor TPA Ngipik)

Keterbatasan lahan di Kabupaten Gresik menjadikan TPA Ngipik yang dioperasikan sejak tahun 2003 membutuhkan pengelolaan yang baik. Penambahan timbunan sampah di TPA, atau *landfill mining* merupakan salah satu alternatif untuk pemanfaatan material yang tertimbun, dan penggunaan kembali TPA. Dari hasil penelitian Imam Mahmudin dan Yulinah (2013), volume timbunan sampah sebesar 214.478 ton. Komposisinya terdiri atas: 25,91% material kompos, 41,40% plastik, 19,37% material kasar, 5,49% kain, 5,31% kayu, 2,5% residu. Volume sampah yang terus meningkat, jenis sampah

dan karakteristik sampah yang beragam, tidak selalu diimbangi dengan penanganan yang seksama. Keterbatasan lahan di Kabupaten Gresik menjadikan TPA Ngipik yang masih aktif memerlukan penanganan yang baik sehingga tidak menimbulkan dampak negatif terhadap masyarakat dan lingkungan (Mahmudin & Trihadiningrum, 2013).

Pada tahun 2015, tepatnya pada Agustus ketika peringatan HUT ke 58 Pabrik Semen Gresik, perusahaan ini meresmikan proyek Waste to Zero Project (WTZ) yakni instalasi proses pengelolaan sampah kota di TPA Ngipik Kec. Gresik Kab. Gresik seluas 1.600 m<sup>2</sup> dilahan bekas tambang Semen Indonesia. Nilai investasi sebesar 13,5 M dengan kapasitas sebesar 10 ton per jam. Pembuatan proyek WTZ ini sangat membantu pengelolaan sampah yang ada di TPA Ngipik (PT Semen Gresik Indonesia, 2015).

TPA Ngipik memiliki 2 area pembuangan yang sudah overload dan 1 lokasi pembuangan sampah baru seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 di atas, serta sudah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Namun dalam pelaksanaan di lapangan, proses penyaluran air limbah dari sampah menuju tempat IPAL masih jauh dari yang direncanakan. Pada Gambar 2.5, Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 merupakan kondisi terkini TPA Ngipik Kabupaten Gresik.



Gambar 2.5 Instalasi Pengolahan Air Limbah (Sumber Penulis)



Gambar 2.6 Aliran air lindi yang tidak terkontrol (Sumber : Penulis)





Gambar 2.7 Lokasi Pembuangan Sampah Bagian Utara (Sumber : Penulis)

### **2.3 Air Lindi**

Air hujan menjadi salah satu media pengontrol pencucian sampah yang akhirnya menimbulkan pencemaran air baik air tanah maupun air permukaan. Hal ini menyebabkan timbulnya kontaminasi pada sumber air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari di daerah pemukiman sehingga dapat mengakibatkan terjadinya penurunan tingkat kesehatan. Air limbah yang berasal dari proses pencucian sampah ini yang disebut dengan air lindi (Trihadiningrum, 1995).

Air lindi juga bisa diartikan sebagai air hasil degradasi dari tumpukan sampah yang dapat menimbulkan pencemaran apabila tidak diolah secara tepat. Penyebaran air lindi ke saluran atau tanah di sekitarnya akan menyebabkan pencemaran ke dalam air bawah permukaan. Instalasi pengolahan sampah dengan skala besar akan menampung sampah dalam kuantitas yang besar sehingga potensi instalasi tersebut menghasilkan lindi yang menimbulkan pencemaran juga cukup besar (Trihadiningrum, 1995).

Air lindi yang merupakan hasil degradasi sampah tentunya mengandung unsur-unsur yang terlarut dan tersuspensi. Hal ini dikarenakan air lindi berupa cairan yang keluar dari tumpukan sampah dan menjadi salah satu bentuk pencemaran lingkungan akibat adanya timbunan sampah. Sampah yang tertimbun di lokasi TPA (Tempat Pembuangan Akhir) mengandung zat organik, akan menghasilkan air lindi dengan kandungan mineral dan zat organik tinggi jika ada hujan turun. Bila kondisi air lindi ini dibiarkan mengalir di permukaan tanah dan menyebar secara luas, maka akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan (Wulandari, 2015).

Air lindi di bawah kondisi normal akan didapatkan di dasar pembuangan sampah sehingga penyebarannya melalui lapisan bawah. Karakteristik material penyusun area TPA juga mempengaruhi terjadinya penyebaran secara lateral atau vertikal. Banyak penelitian dititik beratkan pada rembesan dengan arah vertikal. Hal ini disebabkan karena rembesan dengan arah vertikal ini erat kaitannya dengan kontaminasi air tanah. Karakteristik air lindi sangat bervariasi, bergantung pada proses yang terjadi di TPA, meliputi proses fisik, kimiawi dan biologis. Faktor lain yang mempengaruhi proses degradasi sampah ialah jenis sampah, lokasi TPA, hidrogeologi dan sistem pengoperasian. Faktor-faktor tersebut juga tidak selalu sama antar tempat pembuangan yang satu dengan yang lainnya, begitu juga dengan aktivitas biologis terjadi pada timbunan sampah baik secara aerob maupun anaerob. Berbagai aktivitas tersebut akan mempengaruhi produk yang dihasilkan dari proses dekomposisi dan degradasi sampah meliputi kualitas dan kuantitas air lindi serta gas. Sebagai contoh bila suatu TPA menimbun banyak sampah organik maka karakter air lindi yang dihasilkan akan mengandung zat organik tinggi disertai dengan bau yang busuk (Wulandari, 2015). Tabel 2.1 di bawah ini menjelaskan karakteristik yang dimiliki air lindi berkaitan dengan sifat kimiawi (Ali, 2011).

Tabel 2.1 Karakteristik Air Lindi (Ali, 2011)

Parameter	Satuan	Rentang
COD	mg/liter	150 – 100.000
BOD <sub>5</sub>	mg/liter	100 – 90.000
pH	-	5,3 – 8,5
Alkalinitas	(mg CaCO <sub>3</sub> /liter)	300 – 11.500
NH <sub>4</sub>	mg/liter	1 – 1.500
N-Organik	mg/liter	1 – 2.000
N-Total	mg/liter	50 – 5.000
NO <sub>3</sub>	mg/liter	0,1 – 50
NO <sub>2</sub>	mg/liter	0 – 25
PO <sub>4</sub>	mg/liter	0,3 – 25
Ca	mg/liter	10 – 2.500
Mg	mg/liter	50 – 1.150
Na	mg/liter	50 – 4.000
K	mg/liter	10 – 2.500
SO <sub>4</sub>	mg/liter	10 – 1.200
Cl	mg/liter	30 – 4.000
Fe	mg/liter	0,4 – 2.200
Zn	mg/liter	0,05 – 170
Pb	mg/liter	8 – 1.020
Cr	mg/liter	300 – 1.600
Cu	mg/liter	4 – 1.400

Salah satu sifat fisika air yang biasa digunakan untuk menentukan polutan dalam air yaitu konduktivitas listrik. Dari sifat konduktivitas listrik pada polutan, maka kita dapat mengetahui jenis dari polutan tersebut yaitu dari harga resistivitas limbah. Karakteristik air lindi yang dilihat dari sifat fisisnya yaitu nilai resistivitas akan bernilai kurang dari 10  $\Omega\text{m}$ , ini yang akan membedakan dengan air bersih dengan resistivitas 10-100  $\Omega\text{m}$ . Tabel 2.2 di bawah ini merupakan nilai resistivitas beberapa jenis limbah dari beberapa penelitian yang dirangkum oleh Wulandari (2015) :

Tabel 2.2 Nilai Resistivitas Limbah (Wulandari, 2015)

Jenis Limbah	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Referensi
Sampah pada pasir	41.61 - 81	Distrik, I.W
Sampah pada tanah	10.4 – 31.9	Distrik, I.W
Sampah pada campuran	17.4 – 62.7	Distrik, I.W
Akuifer tercemar	1.23 – 1.81	Wijaya, L.,dkk.2009
Polutan cair (oli) pada pasir	2.09 – 4.63	Suhendra 2005
Pasir besi pada lempung	172 – 359	Suhendra 2005
Lindi TPA Jatibarang (1-3 liter)	24.4 – 86.9	Wulandari, R.A 2010
Polutan pada pasir	89.3 – 457	Ngadimin dan Handayani, G 2000
Air tanah tercemar	< 8	Wijatmoko, B, dan Hariadi 2008

## 2.4 Sifat Kelistrikan Batuan dan Material

Ketika suatu batuan dialiri arus listrik, maka saat itu pula muncul pula sifat kelistrikan batuan. Batuan akan menjadi medium penghantar arus listrik yang memiliki nilai tahanan jenis tertentu. Tahanan jenis merupakan parameter dari setiap material yang nilainya konstan. Tahanan jenis menunjukkan kemampuan material tersebut untuk dapat menghambat aliran arus listrik. Sifat tahanan jenis batuan dibagi menjadi 3 bagian antara lain :

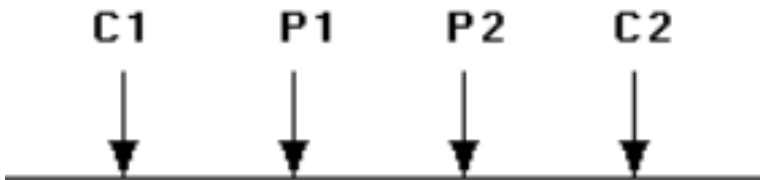
- Resistif : nilai resistivitas  $> 10^7 \Omega\text{m}$
- Semikonduktif : nilai resistivitas  $1 - 10^7 \Omega\text{m}$
- Konduktif : nilai resistivitas  $10^{-8} - 1 \Omega\text{m}$

Pada Tabel 2.3 ini adalah beberapa acuan nilai resistivitas batuan dan material.

Tabel 2.3 Tabel Resistivitas Batuan (Loke, 2015)

Material	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Konduktivitas (Siemens.m)
<b>Batuan Beku dan Metamorf</b>		
Granit	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
<b>Batuan Sedimen</b>		
Batupasir	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Batulempung	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Batugamping	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
<b>Tanah dan Air</b>		
Lempung	1 – 100	0.01 – 1
Aluvial	10 – 800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Air Tanah	10 – 100	0.01 – 0.1
Air Laut	0.2	5

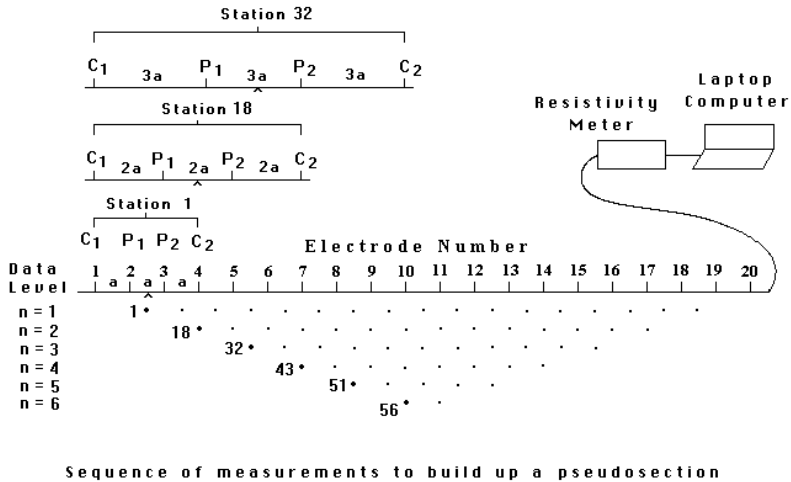
## 2.5 Metode Resistivitas 2D



Gambar 2.8 Konsep Metode Geolistrik (Loke, 2015)

Metoda geolistrik tahanan jenis merupakan metoda yang bersifat aktif dengan mengalirkan arus listrik ke dalam lapisan bumi melalui dua elektroda arus, sedangkan potensialnya diukur melalui dua buah elektroda potensial atau lebih. Pada pengukuran geolistrik tahanan jenis, biasanya digunakan dua buah elektroda arus C di permukaan (C1 dan C1), lihat gambar Gambar 2.8. Besarnya potensial pada titik tengah elektroda P1 dan P2 akan dipengaruhi oleh kedua elektroda tersebut

Metode resistivitas 2D merupakan metode yang bertujuan mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara horizontal, pada metode ini dipergunakan konfigurasi elektroda yang sama untuk semua titik pengamatan di permukaan bumi dan dibuat kontur isoeresistivitasnya.



Gambar 2.9 Konsep Pengukuran Metode Resistivitas 2D (Loke, 2015)

Metode resistivitas 2D ini akan lebih akurat dalam pencarian data bawah permukaan karena perubahan resistivitasnya dalam arah vertikal dan arah horizontal sepanjang garis survey. Dalam hal ini diasumsikan bahwa resistivitas berubah ke arah yang tegak lurus dengan arah survey. Dalam aplikasinya, metode resistivitas 2D memberikan hasil yang nantinya melengkapi data yang diperoleh dari pengukuran metode geofisika yang lainnya. Gambar 2.9 menunjukkan konsep pengukuran metode resistivitas 2D yang dilakukan di lapangan (Loke, 2015).

## 2.5.1 Potensial Listrik Medium Homogen

### 2.5.1.1 Kasus Satu Titik

Untuk elektroda arus tunggal yang dipasang ke bawah permukaan sebuah medium homogen dengan nilai resistivitas medium  $\rho$ , arus listrik mengalir secara radial (Gambar 2.10). Nilai potensial menurun antara dua titik di permukaan dan dideskripsikan dengan gradien beda potensial ( $-\delta V/\delta r$ ) yang bernilai negatif karena beda potensial menurun searah dengan arus listrik. Rapat arus ( $j$ ) menurun dengan pertambahan jarak dari sumber arus.

$$A = 2\pi r^2 \quad (2.1)$$

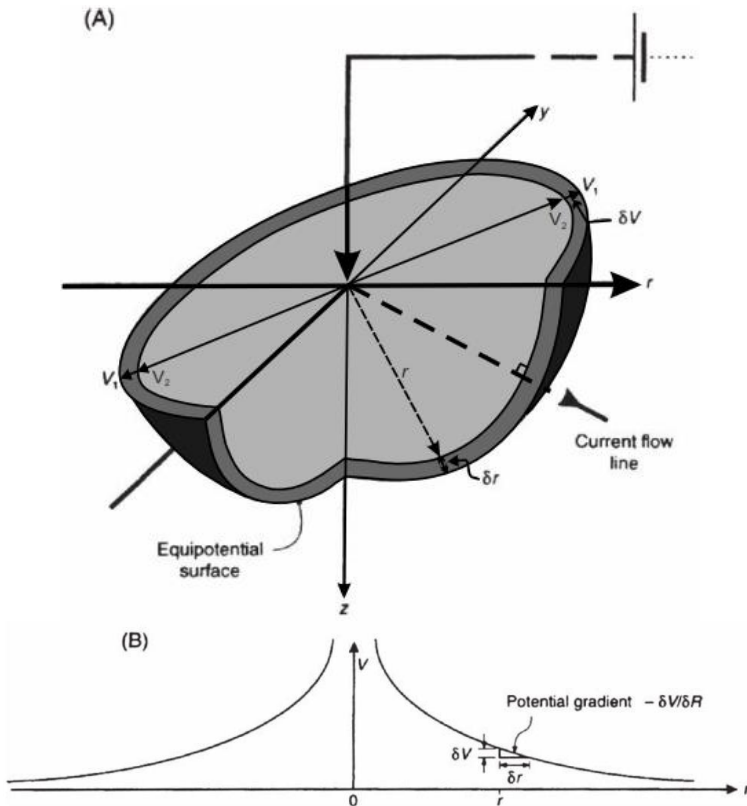
$$\frac{\delta V}{\delta r} = -\rho \cdot j \quad (2.2)$$

$$\frac{\delta V}{\delta r} = -\rho \frac{I}{A} \quad (2.3)$$

Untuk mendapatkan nilai beda potensial dari satu titik arus, harus mengintegrasikan persamaan sebelumnya. Sehingga didapatkan persamaan baru sebagai berikut.

$$V_r = \int \delta V = - \int \rho \frac{I}{2\pi r^2} \delta r \quad (2.4)$$

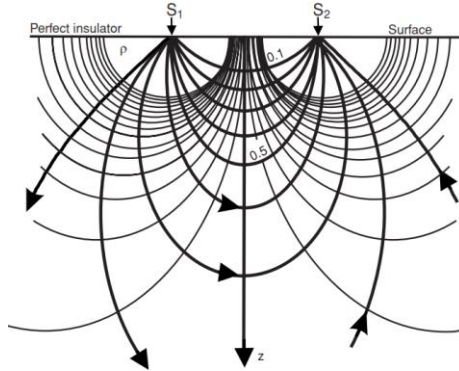
$$V_r = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.5)$$



Gambar 2.10 (A) Ilustrasi 3-Dimensi Penjalaran Satu Titik Arus pada Medium Homogen, (B) Peluruhan Potensial dari Elektroda (Reynolds, 2011)

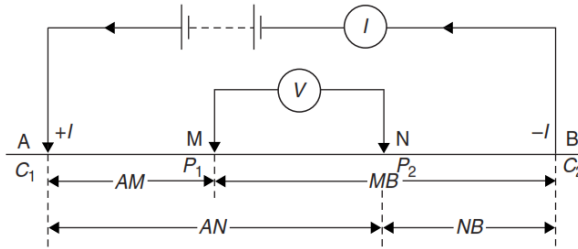
### 2.5.1.2 Kasus Dua Titik

Apabila diberikan injeksi arus sebanyak dua titik, akan terjadi distribusi potensial yang baru, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Arus dan Ekuipotensial Hasil Injeksi (Reynolds, 2011)

Kasus dua titik ini kini sudah dipakai dalam pengukuran lapangan dengan penggunaan dua elektroda arus (A dan B) serta dua elektroda potensial (M dan N). Gambar 2.12 di bawah ini merupakan bentuk kasus dua titik dalam medium homogen.



Gambar 2.12 Bentuk Konfigurasi Elektroda (Reynolds, 2011)

Bila jarak antara elektroda A-M-N-B sudah ditentukan, maka beda potensial dipengaruhi oleh elektroda A dan B sebagai injector arus. Beda potensial yang ditimbulkan oleh  $C_1$  ke  $P_1$  adalah

$$V_A = -A_1/AM \quad (2.6)$$

dimana  $A_1 = -I\rho/2\pi$ . Sedangkan beda potensial antara  $C_2$  dan  $P_2$  adalah

$$V_B = -A_2/MB \quad (2.7)$$

dimana  $A_2 = I\rho/2\pi$ . Sehingga didapatkan persamaan baru

$$V_M = V_A + V_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) \quad (2.8)$$

Berlaku juga untuk beda potensial yang ditimbulkan oleh  $C_2$  ke  $P_2$  yakni :

$$V_N = V_A + V_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \quad (2.9)$$

Dari  $V_M$  dan  $V_N$  dapat dihitung

$$\delta V_{MN} = V_M - V_N \quad (2.10)$$

$$\delta V_{MN} = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \right\} \quad (2.11)$$

$$\rho = \frac{\delta V_{MN}}{I} 2\pi \left\{ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \right\}^{-1} \quad (2.12)$$

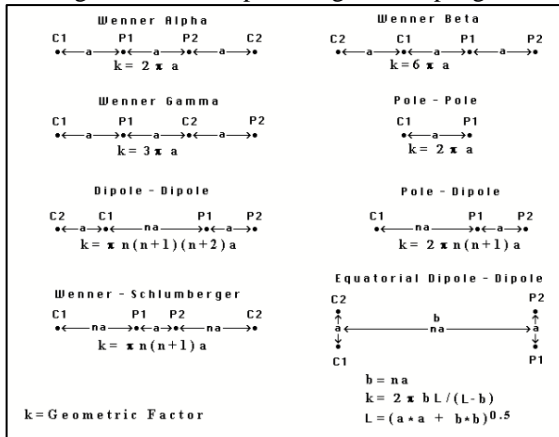
$$\rho = R \cdot 2\pi \left\{ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \right\}^{-1} \quad (2.13)$$

$$\rho = R \cdot K \quad (2.14)$$

Sehingga nilai resistivitas merupakan hasil perkalian antara resistansi dengan faktor geometri (Telford, et.al, 1990).

## 2.5.2 Konfigurasi Elektroda dan Faktor Geometri

Berdasarkan susunan penempatan elektroda pengukuran terdapat berbagai jenis konfigurasi pengukuran diantaranya konfigurasi Wenner Alpha, Wenner Beta, Wenner Gamma, Pole-Pole, Dipole-Dipole, Pole-Dipole, Wenner-Wenner Schlumberger, dan Equatorial Dipole-Dipole. Masing-masing konfigurasi ini memiliki karakteristik tersendiri, sehingga setiap konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan. Gambar 2.13 menunjukkan berbagai bentuk susunan (konfigurasi) elektroda pada Resistivitas 2D. Setiap konfigurasi tersebut menghasilkan faktor geometri yang berbeda-beda di mana faktor geometri ini akan digunakan dalam perhitungan hasil pengukuran.

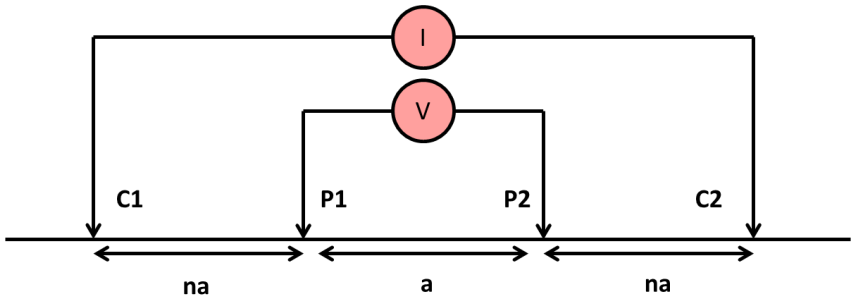


Gambar 2.13 Konfigurasi Metode Geolistrik (Loke, 2015)

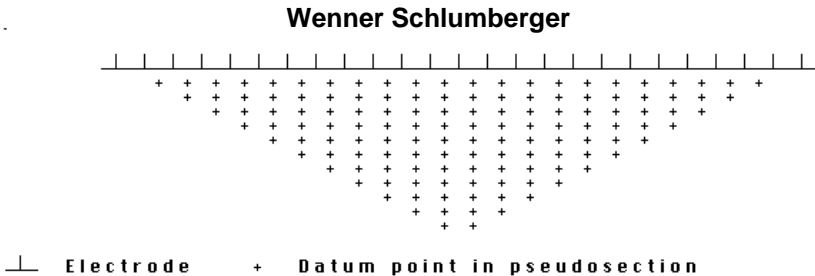


### 2.5.2.1 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi Wenner-Schlumberger merupakan metoda perpaduan antara konfigurasi Wenner dengan Konfigurasi Schlumberger. Berlaku konfigurasi wenner ketika variasi  $n = 1$ , dan berlaku konfigurasi Schlumberger ketika variasi  $n=2,3,4 \dots$  dst. Posisi pemasangan elektroda dalam pengukuran resistivitas 2D menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger terdapat pada Gambar 2.14 serta hasil data yang didapatkan dari konfigurasi tersebut terdapat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.14 Posisi Pemasangan Elektroda Konfigurasi Wenner-Schlumberger  
(Sumber : Penulis)



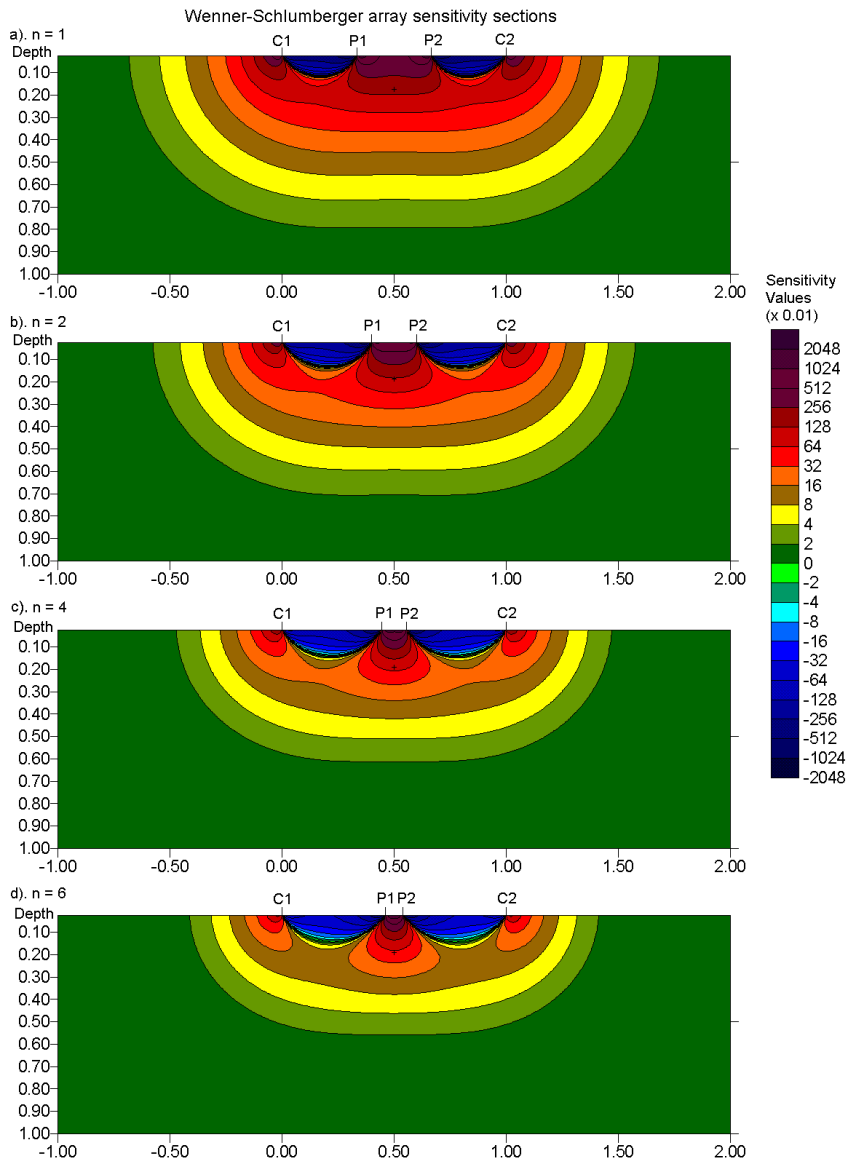
Gambar 2.15 *Stacking Chart* Konfigurasi Wenner Schlumberger (Loke, 2015)

Nilai faktor geometri ( $K$ ) dari konfigurasi Wenner-Schlumberger pada Gambar 2.14 ialah sebagai berikut :

$$K = \pi n(n + 1)a \quad (2.15)$$

Keunggulan yang dimiliki konfigurasi Wenner-Schlumberger ialah mampu memetakan distribusi nilai resistivitas secara lateral dalam kehomogenan sekaligus mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan secara vertikal. Penetrasi kedalaman lebih baik bila dibandingkan dengan konfigurasi

Wenner (Reynolds, 2011). Sensitivitas dan penetrasi dari konfigurasi Wenner-Schlumberger dapat dilihat pada Gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2.16 Sensitivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger (Loke, 2015)

### 2.5.3 Teori Inversi RES2DINV

Pada pengolahan data Resistivitas 2D, proses inversi berfungsi untuk menentukan resistivitas dan ketebalan lapisan yang dihasilkan dari data resistivitas semu hasil perhitungan data lapangan. Inversi yang dilakukan ditujukan untuk menghasilkan penampang bawah permukaan secara lateral dan vertikal. Ada beberapa jenis proses inversi yang ada di RES2DINV yakni metode *Smoothness-constrained least-square*, *Include Smoothing of Model Resistivity* dan metode *robust inversion* (Loke, 2015).

Persamaan standar (*Smoothness-constrained inversion*) yang digunakan dalam program RES2DINV ialah sebagai berikut.

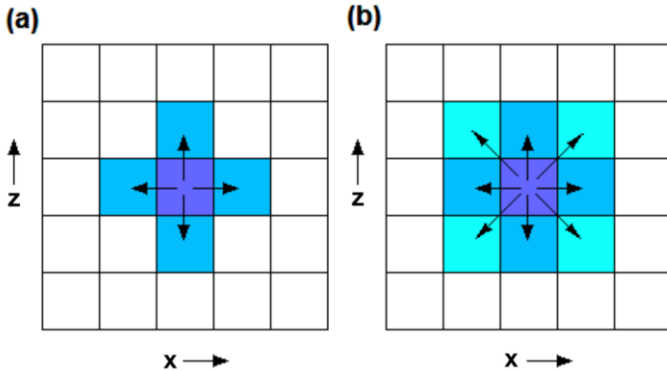
$$(J^T J + \lambda F) \Delta q = J^T g \quad (2.16)$$

di mana  $J$  merupakan matriks Jacobian,  $\lambda$  merupakan *damping factor*,  $\Delta q$  merupakan vektor perubahan parameter model dan  $g$  adalah *discrepancy vector*.

F dalam persamaan di atas merupakan fungsi *smoothing* yang diberikan pada proses inversi. Perumusan dari fungsi *smoothing* ialah sebagai berikut

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z \quad (2.17)$$

di mana  $C_x, C_y, C_z$  adalah matriks *smoothing* yang masing-masing memiliki arah x, y dan z dan  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$  adalah pembobotan relatif yang diikutsertakan dalam filter *smoothing*.



Gambar 2.17 Hubungan *model cells* dengan *roughness filter* pada model 2-D. (a) berarah horisontal-vertikal, (b) berarah diagonal (Loke, 2015)

Proses inversi standar dengan menggunakan tambahan opsi '*Include smoothing of model resistivity*' mengaplikasikan *smoothness constrain* secara langsung pada nilai resistivitas model. Gambar 2.17 menunjukkan hubungan antara data satu dengan data yang lain baik secara horizontal, vertikal maupun diagonal. Persamaan yang digunakan ialah sebagai berikut

$$(J^T J + \lambda W^T W) \Delta q = J^T g - \lambda W^T W q \quad (2.18)$$

di mana nilai resistivitas model akan berubah menjadi bentuk yang lebih halus. Hal itu disebabkan adanya parameter pembobotan yang berfungsi untuk menekan nilai eror dari proses inversi. Opsi yang selanjutnya ialah menggunakan kombinasi metode inversi *smoothness-constrained* dengan *Marquardt-Levenberg*. Persamaan *Marquardt-Levenberg* seperti ditampilkan di bawah ini.

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q = J^T g \quad (2.19)$$

Jenis proses inversi yang terakhir ialah *Robust Inversion*. Metode Robust ini memodifikasi persamaan yang mengikutsertakan proses *smoothing* yang mana setiap elemen model parameter berbeda. Persamaan Robust ialah sebagai berikut

$$(J^T R_d J + \lambda W^T R_m W) \Delta q = J^T R_d g - \lambda W^T R_m W q \quad (2.20)$$

yang mana  $R_d$  dan  $R_m$  merupakan matrik pembobotan yang menjelaskan bahwa perbedaan elemen dari data misfit dan vektor model diberikan pembobotan yang setara pada proses inversi. Sebagai contoh bila diketahui bahwa variasi nilai resistivitas bawah permukaan sangat tinggi, maka nilai *damping factor* dapat diubah mengikuti zona tersebut. Bila nilai eror data point sudah diketahui, matriks pembobotan dapat digunakan untuk menurunkan nilai eror pada data point (Loke, 2015).

## 2.6 Hasil Kajian Terdahulu tentang Geolistrik untuk TPA

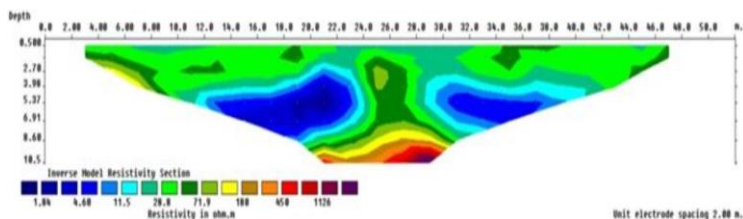
Penelitian dan kajian tentang penggunaan metode Geolistrik dalam pemetaan penyebaran air lindi di TPA sudah banyak dilakukan, baik di Indonesia maupun di luar Indonesia. Beberapa penelitian yang dilakukan di Indonesia diantaranya : TPA Kelurahan Sumur Batu Kecamatan Bantar Gebang Kabupaten Bekasi (Parlainggonan, 2011), TPA Temesi Kabupaten Gianyar (Putra, 2012), TPA Gampong Jawa Kabupaten Banda Aceh (Syukri et.al, 2013), TPA Babakan Kecamatan Ciparay Kabupaten Bandung (Hasanah et.al, 2015), TPA Jatibarang Kabupaten Semarang (Wulandari, 2015), dan TPA Piyungan Kabupaten Bantul (Ahsin, 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Parlainggonan (2011) di TPA Kelurahan Sumur Batu Kabupaten Bekasi menggunakan metode Resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger serta pengujian kualitas air di beberapa sumur terdekat dengan area TPA. Hasil penelitian menunjukkan adanya sebaran air lindi berarah Barat ke Timur lokasi TPA. Nilai resistivitas yang diinterpretasikan sebagai air limbah dari hasil pengolahan ialah 1.3 – 4  $\Omega$ m. Pada penelitian di TPA Temesi Kabupaten Gianyar oleh Putra (2012), digunakan metode Resistivitas 2D konfigurasi Wenner-Schlumberger. Nilai resistivitas dari air lindi pada penelitian tersebut dalam rentang 3.98 – 9.81  $\Omega$ m. Dalam penelitian (Gambar 2.18) didapatkan bahwa penetrasi kedalaman air lindi mencapai 1.56

– 6.91 m dengan arah sebaran ke Selatan TPA karena kontur bagian Selatan TPA lebih rendah dari sekitarnya.

Untuk penelitian yang dilakukan oleh Syukri et.al (2013) di TPA Gampong Jawa Kabupaten Banda Aceh, digunakan metode 2D *Electrical Resistivity Imaging* (2-DERI). Dari interpretasi kualitatif, terindikasi bahwa kedalaman muka air tanah di area penelitian berkisar antara 1 – 6 meter. Penetrasi air lindi diinterpretasikan pada kisaran kedalaman 5 – 20 meter dengan nilai resistivitas kurang dari 1  $\Omega$ m. Hasanah et.al (2015) melakukan penelitian dengan metode geolistrik resistivitas 2D dan didukung dengan analisis geokimia di TPA Babakan Ciparay Kabupaten Bandung untuk mengetahui aliran lindi. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa aliran air yang diambil sebagai sampel air di beberapa lokasi sudah mengalami pencemaran lindi. Dugaan pencemaran lindi berdasarkan penelitian memiliki arah ke Utara yang merupakan area yang lebih rendah. Nilai resistivitas yang diinterpretasikan sebagai air lindi memiliki rentang nilai 0.019 – 7.5  $\Omega$ m. Nilai tersebut jauh bila digunakan acuan air bersih dari Loke (2015) yakni sebesar 10-100  $\Omega$ m.

Penelitian lain yang pernah dilakukan yakni oleh Ratna Sri Wulandari (2015) di TPA Jatibarang Kabupaten Semarang. Penelitian menggunakan metode Geolistrik konfigurasi Schlumberger dengan mengukur sebanyak 4 titik penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada persebaran air lindi dengan resistivitas 0.044 – 0.7  $\Omega$ m mengarah ke elevasi yang lebih rendah yakni ke Sungai Kreo. Dugaan persebaran air lindi sudah mencapai perumahan Bambankerep. Sedangkan di Kabupaten Bantul, Awaludin Ahsin (2016) melakukan penelitian menggunakan metode geolistrik untuk mengetahui pola persebaran air lindi di sekitar TPA Piyungan. Hasil penelitian menunjukkan adanya kontaminasi dari air lindi pada kedalaman 1.5 – 4 meter dengan nilai resistivitas air lindi sebesar 3.2 – 4.5 meter.

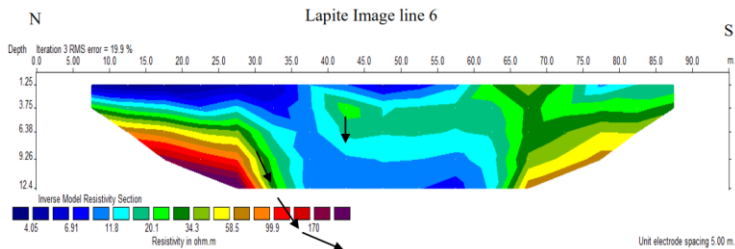


Gambar 2.18 Penampang Resistivitas TPA Temesi, Bali (Putra, 2012)

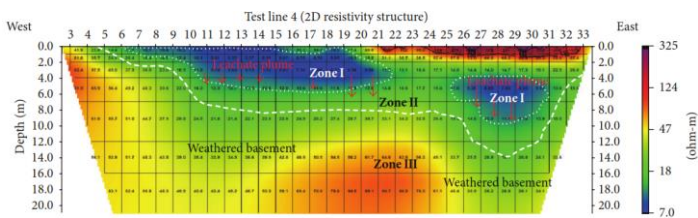
Lopes et.al (2012) melakukan penelitian dengan menggunakan Resistivitas 2D dengan tujuan mengetahui persebaran air lindi di area pembuangan sampah Londrina, Brazil. Penulis menyebutkan bahwa area dengan kontaminasi air lindi diindikasikan dengan nilai konduktivitas listrik yang sangat besar pada sumur monitoring. Nilai resistivitas yang diindikasikan terdapat sebaran air lindi yakni 10 – 25  $\Omega$ m (Lopes et.al, 2012). Casado et.al

(2015) juga melakukan penelitian tentang menentukan persebaran dan arah pergerakan dari air lindi di TPA Sardas, Huesca, Spanyol. Peneliti menggunakan metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger, sebanyak 13 lintasan. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa anomali air lindi tersebar dengan arah Barat Daya ke Timur Laut dan memiliki nilai resistivitas  $< 8 \Omega\text{m}$  (Casado et.al, 2015).

Ganiyu et.al (2015) juga melakukan penelitian tentang pendeliniasian migrasi cairan lindi menggunakan *Electrical Resistivity Imaging (ERI)* di TPA Lapite, Ibadan, Nigeria. Dilakukan pengukuran resistivitas sebanyak 9 lintasan dengan spasi antara 2-25 m dan menggunakan konfigurasi *Wenner Array*. Hasil inversi menunjukkan bahwa cairan lindi memiliki nilai  $< 10 \Omega\text{m}$  dan dapat dideliniasi antara persebaran lindi dengan tanah di area penelitian (Ganiyu et.al, 2015). Salah satu penampang resistivitas hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2.19. Gambar tersebut menunjukkan bahwa akumulasi dan pergerakan air lindi berada pada kisaran nilai di bawah  $10 \Omega\text{m}$ .



Gambar 2.19 Penampang Resistivitas Hasil Inversi di TPA Lapite, Ibadan, Nigeria (Ganiyu et.al, 2015)



Gambar 2.20 Penampang Resistivitas Hasil Inversi di Ibadan Dumpsite (Omolayo & Tope, 2014)

Penelitian dengan resistivitas 2D konfigurasi Wenner juga dilakukan di daerah Ibadan, Nigeria yakni di dekat area pembuangan sampah yang sudah ditutup. Ditujukan untuk mengetahui pola persebaran air lindi dari area pembuangan tersebut. Hasilnya menunjukkan semua lintasan terdapat zona dengan sebaran air lindi yang diinterpretasikan memiliki nilai resistivitas  $4 - 13.8 \Omega\text{m}$ . Dalam menginterpretasikan penampang hasil pengukuran

(Gambar 2.20), penulis membagi penampang menjadi 3 zona yakni zona 1 yang merupakan area sudah tercemar, zona 2 yang merupakan zona transisi dan zona 3 yang merupakan zona aman (Omolayo & Tope, 2014).

Beberapa penelitian yang dilakukan untuk identifikasi persebaran maupun akumulasi air lindi dari berbagai lokasi di dunia dapat dirangkum menjadi Tabel 2.1 di bawah ini. Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan dalam penentuan zona tercemar dan zona penyebaran air lindi di TPA Ngipik.

Tabel 2.4 Kajian Terdahulu tentang Air Lindi dengan Geolistrik

<b>Lokasi</b>	<b>Nilai Resistivitas Air Lindi</b>	<b>Penulis</b>
TPA Kel. Sumur Batu, Bekasi	1,3 – 4 $\Omega\text{m}$	Parlainggonan, 2011
TPA Temesi, Gianyar	3.8 – 9.81 $\Omega\text{m}$	Putra, 2012
TPA di Londrina, Brazil	10-25 $\Omega\text{m}$	Lopes et.al, 2012
TPA Gampong Jawa, Banda Aceh	< 1 $\Omega\text{m}$	Syukri et.al, 2013
TPA di Ikare Akoko	< 72 $\Omega\text{m}$	Okpoli, 2013
TPA di Ibadan, Nigeria	4 – 13.8 $\Omega\text{m}$	Omolayo dan Tope, 2014
TPA Babakan Ciparay, Bandung	0.019 – 7.5 $\Omega\text{m}$	Hasanah, 2015
TPA Jatibarang, Semarang	0.044 – 0.7 $\Omega\text{m}$	Wulandari, 2015
TPA Lapite, Ibadan, Nigeria	< 10 $\Omega\text{m}$	Ganiyu et.al, 2015
TPA Sardas, Huesca, Spanyol	< 8 $\Omega\text{m}$	Casado et.al, 2015
TPA Piyungan, Bantul	3.2 – 4.5 $\Omega\text{m}$	Ahsin, 2016
TPA di Belfort, Prancis	10 – 50 $\Omega\text{m}$	Bichet et.al, 2016
TPA Grindsted, Jutland, Denmark	~10 $\Omega\text{m}$	Maurya et.al, 2017

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Konsep dan Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini, dibuat sebuah kerangka konsep penelitian yang menjadi dasar pelaksanaan penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.

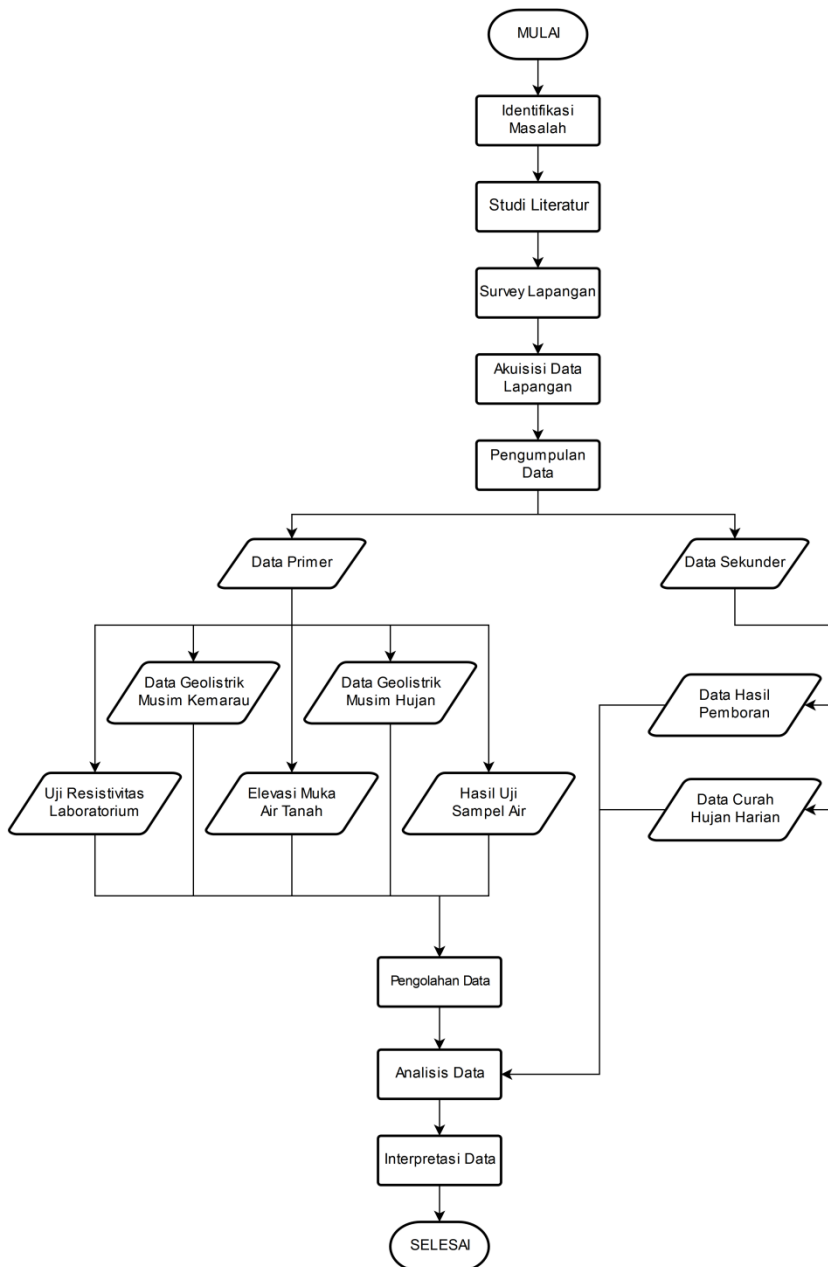


Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Berikut ini penjelasan singkat dari kerangka konsep penelitian :

- TPA Ngipik dalam perencanaan menggunakan sistem *sanitary landfill*, namun pada kenyataannya menjadi sistem open dumping.
- Terdapat pencemaran tanah dan air yang berupa resapan air lindi
- Resapan air lindi memiliki sifat fisis yang bisa diukur dengan metode geofisika yakni Metode Resistivitas 2D
- Penelitian dilakukan pada dua musim untuk mendapatkan hasil berupa penampang 2D, 3D *section* dan beda resistivitas.

Secara garis besar, kegiatan dalam penelitian tugas akhir digambarkan oleh diagram pada Gambar 3.2 di bawah ini :



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

#### Deskripsi Diagram Alir Penelitian :

##### a) Identifikasi Permasalahan

Mengidentifikasi permasalahan yang muncul di area penelitian, mengacu pada fakta-fakta yang ada baik di lapangan maupun penelitian sebelumnya. Permasalahan yang ada ialah terdapatnya air lindi yang tampak menyebar di permukaan pada beberapa titik dan tidak diketahui sebarannya secara vertikal dan belum bisa diketahui sebaran lateran air lindi pada area TPA yang lain.

##### b) Studi Literatur

Memperoleh informasi yang berkaitan dengan kondisi geologi regional dan penelitian terdahulu tentang TPA dengan metode resistivitas. Informasi ini digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaan penelitian dan pemilihan metode. Penggunaan metode Resistivitas 2D dari penelitian terdahulu terbukti dapat memberikan gambaran penyebaran air lindi.

##### c) Survey Lapangan

Mendapatkan gambaran lokasi penelitian secara langsung sebagai bahan penentuan lintasan pengukuran serta data-data pendukung lainnya. Survey lapangan meliputi penentuan titik dan bentangan lintasan, pengukuran kedalaman muka air tanah dan pengambilan sampel air. Hasil dari survey lapangan berupa desain akuisisi lapangan.

##### d) Akuisisi Data Lapangan

Proses pengambilan data di lapangan sesuai dengan desain akuisisi yang sudah dibuat sebelumnya. Pengambilan data lapangan dilakukan sebanyak dua kali pada dua musim berbeda.

##### e) Pengumpulan Data

Mengumpulkan data berupa data primer dan data sekunder, yang masing-masing terdiri dari data pengukuran Resistivitas 2D musim kemarau, musim penghujan, hasil uji sampel air, hasil resistivitas uji laboratorium, data elevasi muka air tanah (data primer), serta data hasil pemboran dan data curah hujan (data sekunder).

##### f) Pengolahan Data

Memproses data lapangan yang sudah didapatkan menjadi penampang resistivitas 2D untuk tiap-tiap lintasan pada setiap musim, serta penampang beda resistivitas untuk setiap lintasan. Membuat penampang 3D *section* dari semua lintasan untuk bahan analisis area yang lebih luas.

##### g) Analisis Data

Menganalisis adanya anomali-anomali yang terdapat pada setiap lintasan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa Kualitatif berdasarkan zona - zona dengan nilai resistivitas yang memiliki kontras tinggi, baik sangat tinggi ataupun sangat rendah. Analisa kuantitatif berdasarkan nilai resistivitas yang ditunjukkan oleh penampang hasil pengolahan.

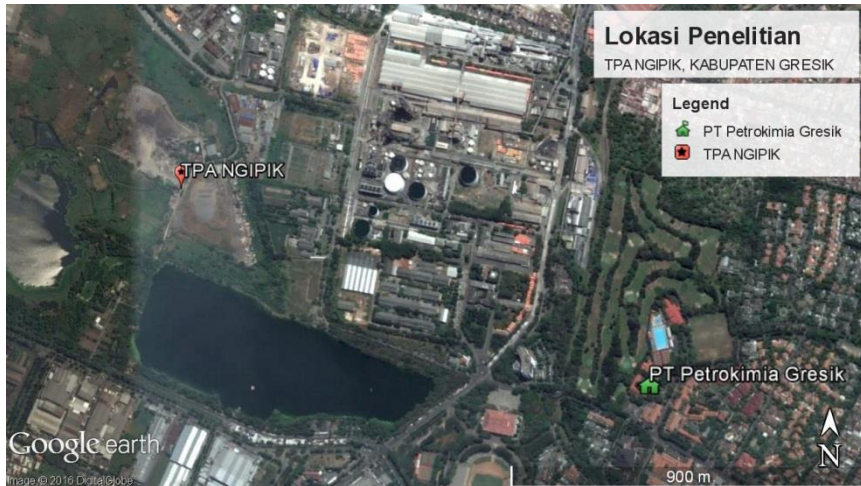
##### h) Interpretasi Data

Menginterpretasikan anomali yang ada pada setiap lintasan berdasarkan uji coba yang sudah dilakukan. Interpretasi juga berdasarkan pada literatur yang

ada terkait kondisi geologi dan batuan penyusun area sekitar. Membandingkan hasil pengolahan musim kemarau dengan musim penghujan pada penampang 2D, beda resistivitas dan penampang 3D.

### 3.2 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian tugas akhir yang dilakukan berada di TPA Ngipik Kecamatan Ngipik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Untuk lokasi TPA terletak pada  $7^{\circ} 9'10.60''\text{S}$  dan  $112^{\circ}37'55.41''\text{E}$  seperti terlihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Lokasi Penelitian (Sumber : Google Earth Pro)

### 3.3 Peralatan dan Data

- Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk mendukung berjalannya kegiatan penelitian tugas akhir ini diantaranya :

- a) Perangkat Keras (*Hardware*)
  - 1 set Resistivimeter
  - 1 set Meteran
  - 1 set Palu
  - 32 buah Elektroda
  - 4 roll Kabel
  - 1 buah GPS
  - Multimeter Digital
  - 2 buah Aki
  - WT61 *Water Quality Tester*

- b) Perangkat Lunak (*Software*)
- Microsoft Office 2013
  - RES2DINV Versi 3.59.121



Gambar 3.4 (a) Resistivimeter, (b) Alat Pengukur Uji Kualitas Air

- Data
  - Data yang digunakan penelitian tugas akhir ini adalah :
    - a) Data Primer
      - Data hasil akuisisi metode Resistivitas 2D Musim Kemarau
      - Data hasil akuisisi metode Resistivitas 2D Musim Penghujan
      - Sampel air
      - Data Elevasi Muka Air Tanah
      - Data Hasil Uji Sampel air
      - Data Resistivitas Hasil Uji Laboratorium
    - b) Data Sekunder
      - Data Hasil Pemboran
      - Data Curah Hujan

### 3.4 Desain Akuisisi



Gambar 3.5 Desain Akuisisi Lapangan

Adapun desain akuisisi lapangan yang dibuat dalam penelitian ini ada pada Gambar 3.5. Digunakan sebanyak 7 lintasan yang menyebar di area TPA Ngipik dan sekitarnya. Penentuan lintasan pengukuran didasarkan dari survey lapangan yang memperhitungkan kondisi lokasi, panjang lintasan, dan faktor lainnya. Tabel 3.1 berikut ini merupakan data lintasan pengukuran beserta koordinat lokasi lintasan. Sedangkan lokasi sumur yang diuji sampel airnya dan diukur elevasi muka air tanahnya terdapat pada Tabel 3.2. Letak sumur dalam area TPA Ngipik ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Tabel 3.1 Data Lintasan Pengukuran

Kode	Koordinat UTM Awal		Koordinat UTM Akhir		Spasi (m)	Panjang (m)
	X	Y	X	Y		
LG1	680167	9208862	680209	9208977	4	124
LG2	680163	9208858	680049	9208907	4	124
LG3	680297	9208804	680181	9208849	4	124
LG4	680348	9209071	680388	9208921	5	155
LG5	679972	9209091	679990	9209015	2.5	77.5
LG6	679981	9209161	679968	9209167	0.5	15.5
LG7	680082	9209174	680045	9209244	2.5	77.5

Tabel 3.2 Data Koordinat UTM Lokasi Sumur

Simbol	Nama	X	Y
	Sumur Monitoring IPAL	680275	9209202
	Sumur Bor IPAL	680271	9209199
	Sumur Monitoring Kantor	680255	9209074
	Sumur Bor Kantor	680276	9209077
	Sumur Bor Sawah	679976	9209156



Gambar 3.6 Lokasi Sumur

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## BAB IV

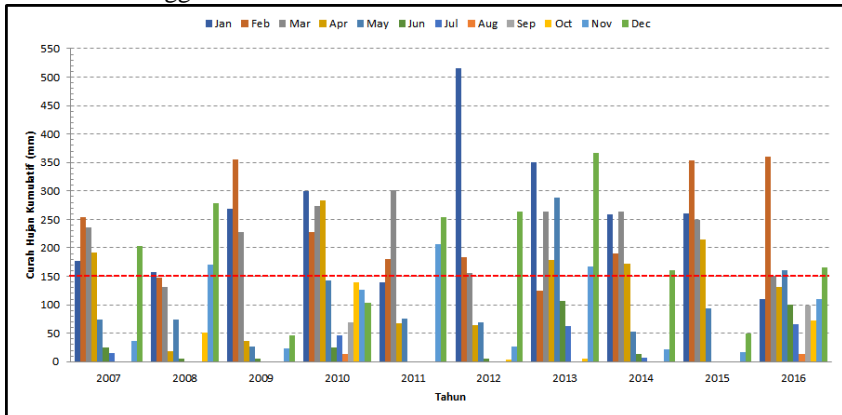
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dipaparkan analisis dari pengolahan data yang sudah dilakukan serta keterkaitannya dengan data sekunder yang digunakan. Pengukuran dilakukan selama dua musim yakni 25-28 Agustus 2016 untuk musim kemarau dan pada 20-24 Januari 2017 untuk musim hujan. Hal ini ditujukan untuk mengetahui beda resistivitas dari lapangan target serta menganalisis arah aliran yang terjadi di setiap lintasan. Dalam membantu analisis dan interpretasi, digunakan beberapa data sekunder. Adapun data sekunder tersebut ialah data curah hujan pada rentang bulan pengukuran dan 10 tahun ke belakang serta data hasil pengeboran. Sedangkan data primer ialah data hasil uji sampel air, elevasi muka air tanah serta data hasil uji laboratorium untuk resistivitas sampel tanah.

#### 4.1 Analisa Data Sekunder

##### 4.1.1 Curah Hujan Daerah Penelitian

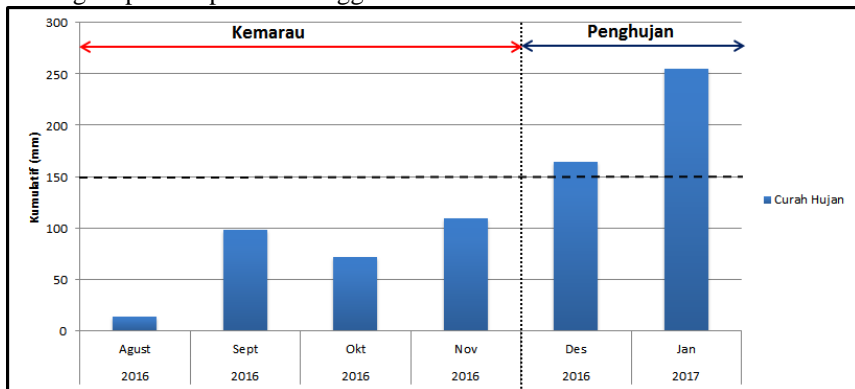
Data curah hujan diambil dari BMKG Stasiun Klimatologi Karangploso, Malang untuk area di sekitar TPA Ngipik Kabupaten Gresik. Pos pantauan curah hujan terdekat ialah Pos Suci yang berjarak  $\pm 5$  km dari lokasi penelitian. Data curah hujan ditujukan sebagai data kontrol kuantitas air hujan per hari terhadap hasil pengukuran. Hal ini dikarenakan pada bulan Agustus 2016 yang seharusnya sudah memasuki musim kemarau, beberapa hari masih terjadi hujan. Serta digunakan sebagai penentuan musim kemarau dan musim penghujan. Gambar 4.1 di bawah merupakan grafik curah hujan kumulatif dari tahun 2007 hingga tahun 2016.



Gambar 4.1 Curah Hujan Kumulatif di Pos Suci Manyar Gresik, dari tahun 2007-2016 (Sumber : BMKG Stasiun Klimatologi Karangploso)

BMKG menyebutkan bahwa pertanda dimulainya musim penghujan ialah jumlah curah hujan dalam satu dasaharian (10 hari) sama atau lebih besar dari 50 mm dan diikuti oleh dua dasaharian berikutnya, atau dalam satu bulan terjadi hujan dengan intensitas curah hujan mencapai 150 mm (Dayantolis et.al, 2016). Bila melihat data curah hujan kumulatif daerah penelitian dari tahun 2007 – 2016 (10 tahun terakhir) yang terdapat pada Gambar 4.1, terlihat bahwa penentuan musim kemarau dan musim penghujan relatif tidak menentu. Pada tahun 2007 hingga tahun 2015, musim penghujan masing-masing tahun dimulai pada bulan Januari 2007, Desember 2007, November 2008, Januari 2010, Februari 2011, November 2011, Desember 2012, November 2013 dan Januari 2014. Pada 10 tahun terakhir, awal musim penghujan tercatat berubah-ubah bila menggunakan acuan dari penelitian Dayantolis et.al (2016)

Sedangkan pada tahun 2015/2016, tercatat musim penghujan dimulai dari bulan Februari 2016. Pada 2016 tercatat nilai curah hujan terjadi setiap bulannya. Mulai dari bulan Januari dan memuncak pada Februari 2016. Hingga mengalami penurunan pada bulan Juni, Juli dan Agustus 2016. Namun kembali meningkat pada September hingga Desember 2016 dan Januari 2017.



Gambar 4.2 Grafik Curah Hujan Kumulatif Rentang Waktu Penelitian, (Sumber : BMKG Stasiun Klimatologi Karangploso)

Dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.2 bahwa pada Bulan Agustus 2016 masih terdapat curah hujan dengan nilai 14 mm. Dan curah hujan mulai meningkat pada Bulan September 2016 hingga puncaknya pada Januari 2017 sebesar 256 mm. Dengan acuan penelitian Dayantolis et.al (2016), bisa diambil kesimpulan bahwa pada pengukuran Resistivitas 2D Bulan Agustus 2016 berlaku musim kemarau dan pada pengukuran Bulan Januari 2017 berlaku musim penghujan. Dikarenakan pada Bulan Agustus, curah hujan kumulatif hanya sebesar 14 mm dan pada Bulan Januari 2017 curah hujan dasaharian masing-masing sebesar 76 mm, 36 mm dan 81 mm serta curah hujan kumulatif lebih dari 150 mm dalam satu bulannya.

#### 4.1.2 Data Hasil Pemboran

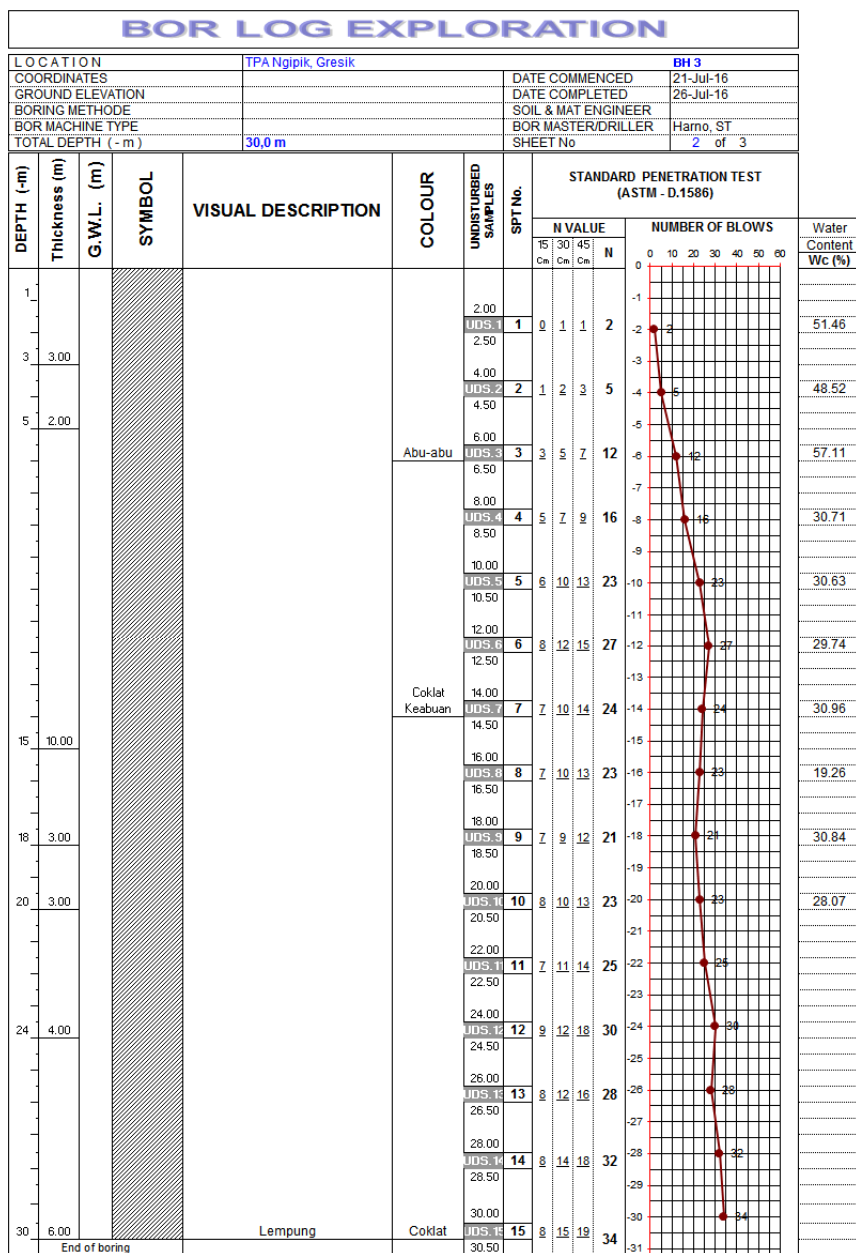
Data selanjutnya yang digunakan sebagai pendukung interpretasi ialah data hasil pemboran. Pemboran ini dilakukan pada bulan Juli 2016 Data hasil pemboran ini digunakan sebagai acuan interpretasi lintasan yang terdekat dengan titik bor dan juga sebagai referensi kondisi bawah permukaan di sekitar area TPA Ngipik. Titik bor yang paling dekat dengan lintasan pengukuran ialah titik bor 3 yang mana dilalui oleh lintasan 6.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa hingga kedalaman 30 meter, hasil yang didapatkan ialah lempung. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan lempung sangat dalam, sesuai dengan formasi lidah yang dominasi lapisannya ialah lempung. Hasil pemboran ini juga sudah dilakukan analisa tentang parameter kadar air, berat volume, porositas yang nantinya dijadikan acuan dalam pembuatan sampel ukur untuk uji resistivitas skala laboratorium. Kemudian dilakukan analisis terhadap sampel hasil pemboran tanah dan didapatkan data seperti pada Tabel 4.1 di bawah ini

Tabel 4.1 Analisa Hasil Pemboran Tanah

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	
		Kedalaman 1.5-2.0	Kedalaman 3.5-4.0
Kadar Air rata-rata	%	51.46	48.52
Berat Volume Tanah rata-rata	gr/cc	1.639	1.608
Berat Volume Tanah Kering rata-rata	gr/cc	1.082	1.082
Porositas	%	0.62	0.62
Derajat Saturasi	%	89.74	84.66

Dari hasil analisa pemboran tanah di titik bor 3 yang berdekatan dengan lintasan 6 pengukuran resistivitas 2D, dapat diketahui bahwa lempung yang ada di titik tersebut memiliki kadar air berkisar 50 % dan porositasnya cukup kecil yakni 0.62 %. Pada kedalaman 1 – 4 meter, nilai saturasi air pada titik bor ini sangat tinggi yakni diatas 80 %. Hal ini menunjukkan bahwa area tersebut memiliki kandungan air yang cukup tinggi. data tersebut dikuatkan dengan posisi titik yang berada di area persawahan dan tepat bersebelahan langsung dengan kubangan air.



Gambar 4.3 Hasil Bor Sawah

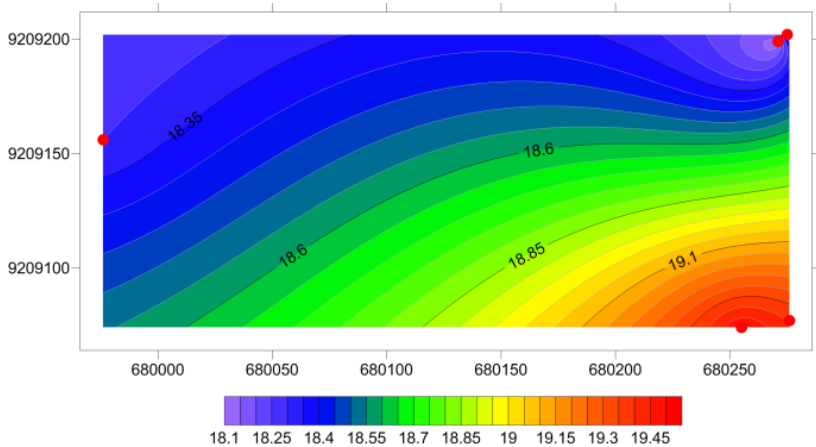
## 4.2 Elevasi Muka Air Tanah

Data pendukung selanjutnya ialah elevasi muka air tanah yang dibuat dari data elevasi sumur dan kedalaman muka air tanah. Data elevasi ini diambil pada tanggal 28 Januari 2017 ketika pengukuran untuk musim penghujan. Langkah pengambilan data elevasi yakni menggunakan GPS Garmin dalam menentukan elevasi di titik sumur. Kemudian menggunakan meteran yang diberi beban dan diturunkan hingga menyentuh permukaan air. Selanjutnya diukur kedalaman muka air tanah, jarak dari permukaan air hingga bibir sumur dan dihitung selisih antara jarak dari permukaan air ke bibir sumur dengan ketinggian sumur yang menjadi. Elevasi sumur dihitung dari pengurangan elevasi hasil GPS dengan kedalaman muka air tanah. Elevasi muka air tanah ini digunakan sebagai prakiraan arah aliran air bawah permukaan di area TPA Ngipik.

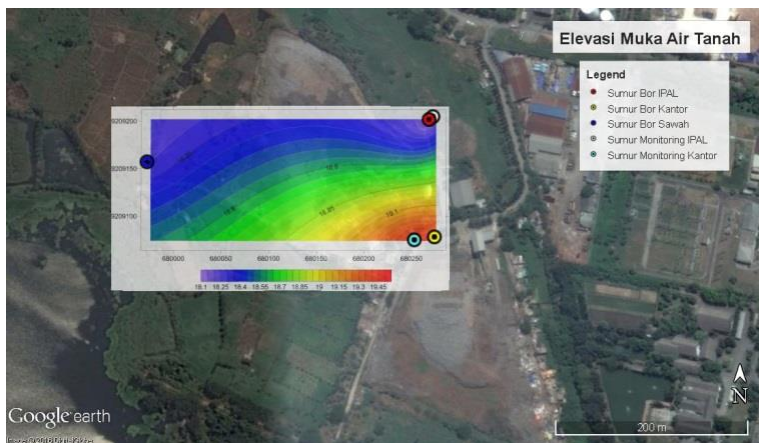
Tabel 4.2 Data Elevasi Sumur Monitoring dan Sumur Bor

Nama Sumur	Elevasi Sumur (m)	Kedalaman Air (m)	Muka Air Tanah (m)
Sumur Monitoring IPAL	21	2.5	18.5
Sumur Monitoring Kantor	20	0.5	19.5
Sumur Bor IPAL	21	2.9	18.1
Sumur Bor Kantor	20	0.6	19.4
Sumur Bor Sawah	19	0.7	18.3

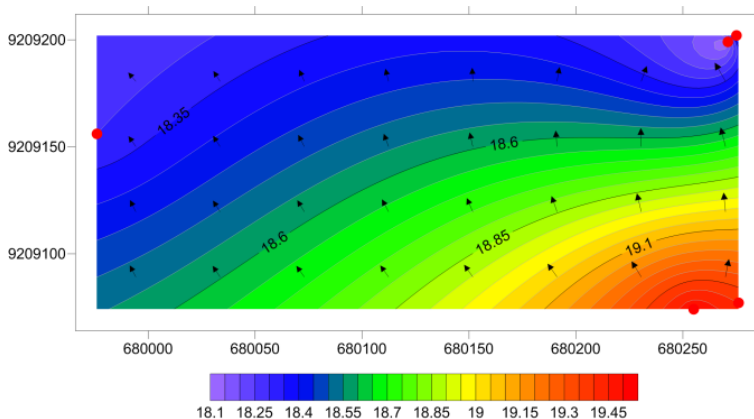
Dari Tabel 4.2 di atas, selanjutnya dibuat kontur untuk melihat korelasi elevasi muka air tanah antar sumur.



Gambar 4.4 Kontur Elevasi Muka Air Tanah



Gambar 4.5 Overlay Kontur Elevasi Muka Air Tanah dengan area TPA Ngipik



Gambar 4.6 Kontur Arah Aliran

Dari Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dapat diprediksi bahwa secara garis besar aliran air bawah permukaan di area TPA Ngipik berarah dari Utara ke Selatan. Namun hasil kontur elevasi muka air tanah ini hanya mencakup bagian utara dari area pembuangan sampah saja. Sehingga untuk analisa hasil penampang lintasan Resistivitas 2D yang berada di bagian selatan dilakukan dengan kualitatif terkait arah rembesan dan prediksi arah aliran.

### 4.3 Hasil Uji Sampel Air

Data hasil uji sampel air digunakan sebagai kontrol kualitatif terhadap sumur-sumur yang ada di lokasi TPA Ngipik. Data hasil uji sampel air ini bisa merepresentasikan kondisi air yang ada di area TPA Ngipik. Parameter yang

digunakan sebagai pengujian antara lain pH, konduktivitas, TDS dan salinitas dan beberapa parameter kimia lainnya. Parameter yang bisa mencirikan secara jelas kondisi air yang tercemar dan terkontaminasi oleh air lindi adalah konduktivitas, TDS, Salinitas, BOD dan COD.

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Sampel Air (25 Agustus 2016)

Uji Air				
Sampel	pH	Konduktivitas (mS/cm)	TDS (ppm)	Salinitas (ppm)
Telaga Ngipik Timur	7.38	0.884	590	421
Telaga Ngipik Barat	7.29	0.966	636	460
Sumur Monitoring Kantor	7	6.320	4450	3340
Sumur Monitoring IPAL	6.95	3.110	2080	1460
Air Lindi	8.2	11.57	7430	5750

Tabel 4.4 Data Hasil Uji Sampel Air (28 Januari 2017)

Parameter	Satuan	Hasil Analisa				
		Lindi	BH-3	BH-1	MW-1	MW-2
pH	-	7.56	7.36	7.06	7.05	7.06
TDS	mg/l	4514	2592	2216	2168	2420
TSS	mg/l	216	83	12	8	62
NO <sub>3</sub>	mg/l	0.51	0.27	0.31	0.27	0.79
NO <sub>2</sub>	mg/l	0.13	0.19	0.03	0.02	0.57
NH <sub>3</sub>	mg/l	17.79	0.11	0.04	0.04	14.27
BOD	mg/l	360	6.28	3.5	3.2	6.18
COD	mg/l	612	10.40	5.8	5.6	10.20
Fe	mg/l	1.52	0.12	0.13	0.13	0.12

Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 di atas merupakan data hasil pengujian air sampel yang diambil pada tanggal 25 Agustus 2016 dan 28 Januari 2017. Sampel air yang diambil pada 25 Agustus 2016 yakni air Telaga Ngipik Timur dan Barat, Sumur Monitoring Kantor, Sumur Monitoring IPAL serta air lindi. Sedangkan sampel air yang diambil pada 28 Januari 2017 ialah air lindi, Sumur Monitoring Kantor (MW-2), Sumur Monitoring IPAL (MW-1), Sumur Bor IPAL (BH-1) dan Sumur Bor Sawah (BH-3). Sumur Monitoring Kantor berada di sebelah utara dari area TPA bagian Timur berjarak  $\pm 7$  meter, sedangkan Sumur Monitoring IPAL bersebelahan dengan IPAL, berjarak  $\pm 5$  meter. Lokasi sumur bisa dilihat pada BAB III Gambar 3.6.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa empat dari lima sampel (Tabel 4.3) memiliki nilai pH yang netral, mendekati nilai 7, sedangkan air

lindi sudah mencapai 8.2 yang mengarah ke basa. Hal ini menunjukkan bahwa pH yang mengukur keasam-basaan dari lima sampel, empat sampel air masih tergolong netral dan satu sampel air lindi tergolong basa. Sedangkan hasil uji kedua (Tabel 4.4) menunjukkan bahwa diantara lima sampel uji, nilai pH tertinggi dimiliki oleh air lindi yang menunjukkan bahwa kualitas air basa.

Nilai konduktivitas hasil pengujian (Tabel 4.3) menunjukkan perbedaan yang signifikan antara air sumur monitoring dengan air dari telaga dan air lindi. Hasil pengujian dengan nilai tertinggi yakni pada pengujian air lindi dengan nilai konduktivitas sebesar 11.57 mS/cm. Hasil pengujian konduktivitas pada sampel air Sumur Monitoring Kantor memiliki nilai yang sangat tinggi yakni 6.320 mS/cm. Untuk hasil pengujian konduktivitas pada sampel air Sumur Monitoring IPAL memiliki nilai 3.110 mS/cm. Sedangkan hasil pengujian konduktivitas untuk Telaga Ngipik Barat dan Timur masing-masing sebesar 0.966 mS/cm dan 0.884 mS/cm. Perbedaan yang signifikan ini menunjukkan bahwa sampel air di sumur monitoring lebih konduktif dibandingkan dengan sampel air di telaga. Hal ini dapat dinyatakan bahwa air sampel di sumur monitoring yang berada di dekat area pembuangan sampah sudah terkontaminasi dengan air lindi sehingga nilai konduktivitasnya meningkat. Air lindi memiliki karakteristik yang sangat konduktif karena kandungan sampah sangat beragam dan banyak sekali sampah yang menghasilkan ion logam.

Hasil pengujian parameter TDS (*Total Dissolve Solid*) juga menunjukkan perbedaan yang signifikan antara hasil uji sampel air telaga dengan sampel air sumur monitoring serta air lindi. Nilai uji TDS pada sampel air Telaga Ngipik Barat dan Timur masing-masing sebesar 636 ppm dan 590 ppm. Sedangkan hasil uji TDS pada sampel air sumur monitoring di dekat kantor dan di dekat IPAL masing-masing sebesar 2080 ppm dan 4450 ppm. Nilai TDS menunjukkan padatan terlarut dalam air yang mana padatan terlarut dalam sampel air sumur monitoring sangat tinggi bila dibandingkan dengan padatan terlarut dalam sampel air telaga. Dan nilai TDS tertinggi ialah air lindi sebesar 4514 ppm (Tabel 4.4) dan 7430 ppm (Tabel 4.3). Padatan terlarut ini diprediksi berasal dari kontaminasi pencemaran sampah yang menyebar di sekitar wilayah pembuangan sampah.

Parameter selanjutnya yakni salinitas, yang mana hasil pengujian pada kelima sampel (Tabel 4.3) menunjukkan perbedaan yang juga signifikan. Nilai salinitas pada air lindi sangat besar yakni sebesar 5750 ppm. Nilai uji Salinitas pada sampel air Telaga Ngipik Barat dan Timur masing-masing sebesar 460 ppm dan 421 ppm. Sedangkan hasil uji Salinitas pada sampel air sumur monitoring di dekat kantor dan di dekat IPAL masing-masing sebesar 3340 ppm dan 1460 ppm. Nilai Salinitas menunjukkan kandungan garam yang terlarut dalam air. Hal ini dapat dinyatakan bahwa sampel air yang berada di dekat area pembuangan sampah dan di dekat lokasi pengolahan air lindi memiliki kandungan garam yang tinggi. Sedangkan kandungan garam pada air



sampel telaga masih tergolong rendah. Kandungan garam ini diperkirakan dari kontaminasi air lindi yang karakteristiknya bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Untuk beberapa parameter kimia yang lain pada pengujian sampel air tanggal 28 Januari 2017 (Tabel 4.4), sampel air lindi masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan sampel air dari sumur bor maupun sumur monitoring. Nilai BOD, COD dan TSS dari air lindi sangat tinggi yakni berurutan sebesar 360, 612, 216 mg/l. Nilai tersebut sangat tinggi bila dibandingkan dengan nilai BOD, COD dan TSS dari sampel lain berurutan sebagai berikut : 6.28, 10.40, 83 mg/l (sumur bor sawah); 3.5, 5.8, 12 mg/l (sumur bor IPAL); 3.2, 5.6, 8 mg/l (sumur monitoring IPAL); 6.18, 10.20, 62 mg/l (sumur monitoring kantor).

#### 4.4 Hasil Uji Laboratorium (Uji Resistivitas)

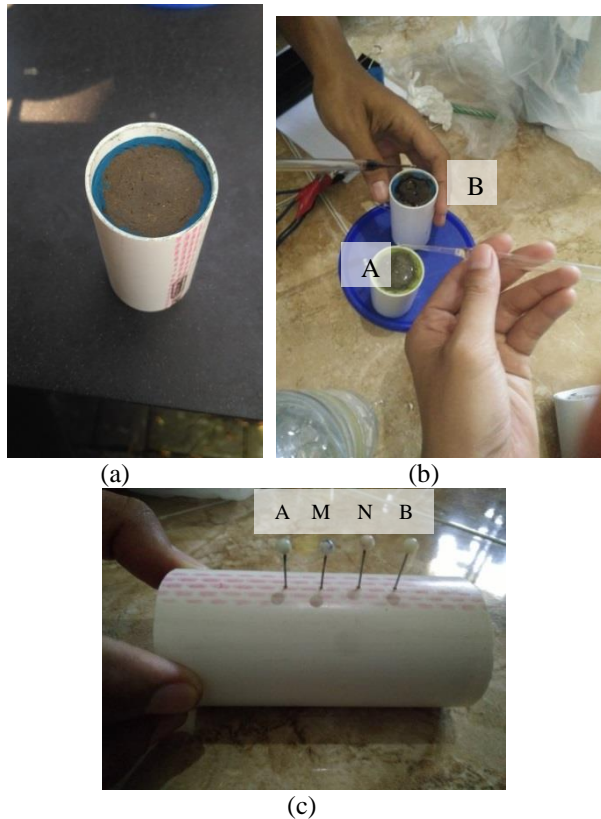
Uji resistivitas skala laboratorium ini ditujukan untuk mengetahui respon resistivitas dari sampel tanah yang dicetak ulang dalam bentuk tabung yang mendapatkan penambahan cairan yang berbeda yakni aquades dan air lindi. Perbedaan nilai resistivitas dari sampel yang telah dibedakan perlakuan ini nantinya digunakan sebagai dasar interpretasi kuantitatif terhadap hasil inversi lintasan resistivitas 2D. Sampel tanah yang digunakan ialah sampel tanah dari titik bor ke-3 yang berada di dekat lintasan 6 resistivitas 2D. Adapun parameter yang digunakan dalam pembuatan sampel tercantum pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Parameter Pembuatan Sampel

$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$W_w$ (g)	$W_s$ (g)	$w_{c\ opt}$ (%)	$W_t$ (g)	d (cm)	t (cm)	V (cm <sup>3</sup> )
1.32	31.91	104.62	30.50	136.53	3.72	7.27	78.98

Di mana  $\gamma_d$  ialah berat volume tanah kering yang didapatkan dari uji proktor terhadap sampel tanah yang dipakai. Volume sampel yang dibuat memiliki diameter sampel sebesar 3.72 cm dan tinggi sampel sebesar 7.27 cm. Dari berat volume tanah kering dan diketahui volume sampel yang dibuat, maka ditentukan berat tanah yang akan dicetak. Berat tanah  $W_t$  terdiri dari berat sampel  $W_s$  dan berat air  $W_w$ . Berat air didapat dari nilai kandungan air optimum terhadap berat volume sampel kering optimum.

Setelah sampel selesai dicetak, kemudian dikeluarkan dari cetakan dan dimasukkan ke pipa pvc yang memiliki diameter dalam sama dengan diameter sampel. Selanjutnya pada bawah sampel diberikan lilin sebagai penahan cairan keluar dan diberikan juga pada sisi sampel agar pemberian cairan tidak meresap melalui samping, namun melalui atas sampel. Selanjutnya sampel dibor dengan spasi 1 cm sebanyak 4 titik untuk pengujian resistivitas. Jarum pentul digunakan sebagai elektroda. Media berupa pipa, lilin dan jarum memiliki berat sebesar 47.274 gram untuk media sampel A (diuji dengan aquades) dan 44.774 gram untuk media sampel B (diuji dengan air lindi).



Gambar 4.7 (a) Sampel tanah, (b) Perlakuan pada sampel A dan B, dan (c) Konfigurasi Pengujian Resistivitas

Pengukuran resistivitas menggunakan alat Campus Tigre dengan arus yang diinjeksikan sebesar 0.5 mA dan pengulangan injeksi sebanyak 3 kali. Konfigurasi yang digunakan ialah Konfigurasi Wenner seperti pada Gambar 4.7 (c). Perlakuan yang diberikan yakni pemberian 10 tetes cairan pada masing-masing sampel. Pada sampel A diberikan cairan aquades, sedangkan pada sampel B diberikan cairan air lindi. Pengukuran pertama kali dilakukan tanpa perlakuan, yakni pada sampel yang asli. Dan pengukuran selanjutnya untuk setiap perlakuan dilakukan sebanyak 6 kali.

Data pengukuran berupa hambatan ( $R$ ) yang selanjutnya dikalikan dengan faktor geometri akan mendapatkan *apparent resistivity*. Setiap perlakuan juga diukur penambahan berat sebagai perhitungan perubahan kandungan air pada sampel yang diuji. Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan resistivitas, didapatkan data seperti pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Resistivitas

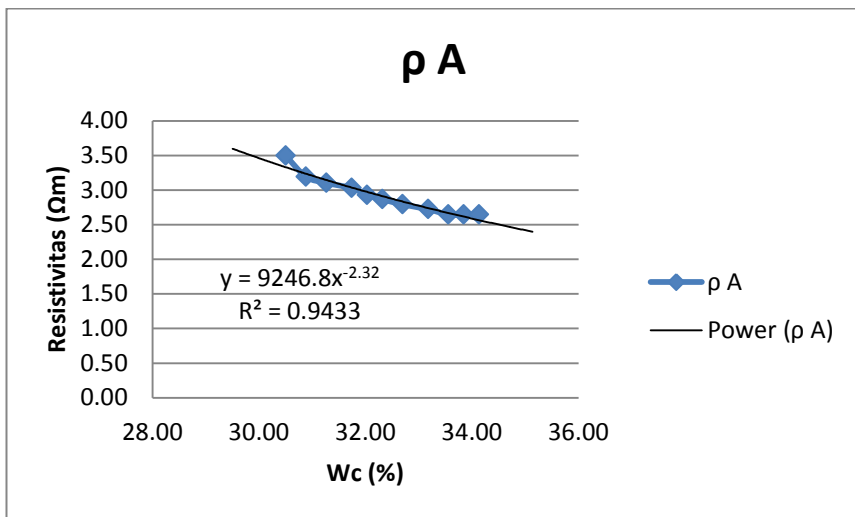
Tetes	Wk A (g)	Wk B (g)	$\Delta Wc$ (g)	$R_A (\Omega)$	$R_B (\Omega)$
0	183.8	181.3	0	55.65	37.32
10	184.2	181.7	0.4	50.83	34.47
20	184.6	182.1	0.8	49.42	32.05
30	185.1	182.6	1.3	48.21	28.66
40	185.4	182.9	1.6	46.63	26.84
50	185.7	183.2	1.9	45.64	26.59
60	186.1	183.6	2.3	44.46	26.57
70	186.6	184.1	2.8	43.36	26.44
80	187	184.5	3.2	42.11	26.48
90	187.3	184.8	3.5	42.11	26.50
100	187.6	185.1	3.8	42.16	26.50

Di mana Wk A merupakan berat kotor sampel A dan Wk B merupakan berat kotor sampel B.  $\Delta Wc$  merupakan berat cairan yang diberikan pada masing-masing sampel tanah. Setelah itu dilakukan perhitungan prosentase kandungan air terhadap masing-masing sampel seperti pada Tabel 4.7 di bawah ini.

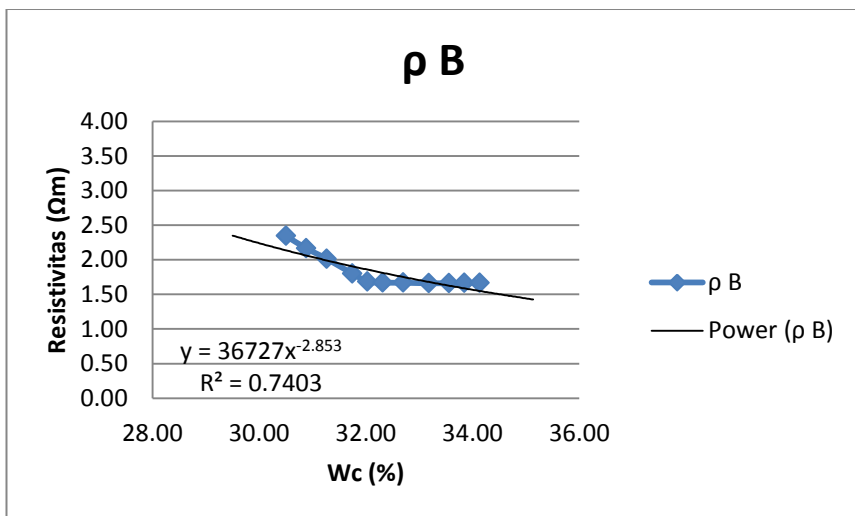
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Prosentase Kandungan Air dan Resistivitas

Tetes	$\Delta Wc$ (g)	$\Delta Wc$ (%)	$\rho A (\Omega m)$	$\rho B (\Omega m)$
0	0	30.50	3.49	2.34
10	0.4	30.88	3.19	2.16
20	0.8	31.27	3.10	2.01
30	1.3	31.74	3.03	1.80
40	1.6	32.03	2.93	1.69
50	1.9	32.32	2.87	1.67
60	2.3	32.70	2.79	1.67
70	2.8	33.18	2.72	1.66
80	3.2	33.56	2.64	1.66
90	3.5	33.85	2.64	1.66
100	3.8	34.13	2.65	1.66

Selanjutnya dibuat grafik antara prosentase kandungan air dengan nilai resistivitas seperti pada Gambar 4.8 di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 4.8 Grafik Perubahan Resistivitas terhadap Kandungan (a) Aquades dan (b) Air Lindi

Pada masing-masing grafik, dicari persamaan regresi power untuk menghitung nilai resistivitas pada kandungan air tertentu. Persamaan regresi power ini merupakan hubungan antara kandungan air dengan nilai resistivitas. Persamaan yang digunakan ialah pada Tabel 4.8 di bawah ini. Dari persamaan

tersebut kemudian didapatkan nilai resistivitas tiap kedalaman 2 meter dari titik bor ke-3.

Tabel 4.8 Persamaan Resistivitas dari *Water Content*

Persamaan Umum	Sampel A	Sampel B
$\rho = aw_c^{-b}$	$\rho_A = 9246.8 w_c^{-2.32}$	$\rho_B = 36727 w_c^{-2.853}$

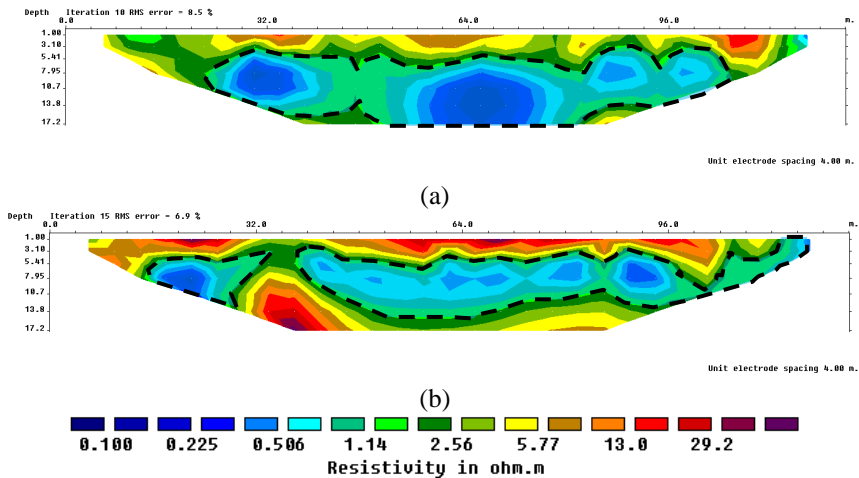
Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Resistivitas dari Persamaan

Kedalaman (m)	Wc BOR-3 (%)	$\rho_A$ ( $\Omega$ m) (kandungan air)	$\rho_B$ ( $\Omega$ m) (kandungan air lindi)
2	51.46	0.99	0.48
4	48.52	1.13	0.57
6	57.11	0.78	0.36
8	30.71	3.28	2.10
10	30.63	3.30	2.11
12	29.74	3.53	2.30
14	30.96	3.22	2.05
16	19.26	9.67	7.94
18	30.84	3.25	2.07
20	28.07	4.04	2.71

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa ada perbedaan nilai resistivitas yang terukur antara sampel tanah dengan campuran air aquades (sampel A) dengan sampel tanah dengan campuran air lindi (sampel B). Nilai resistivitas dari sampel B lebih kecil daripada sampel A. Bila disesuaikan dengan hasil resistivitas lintasan 6 yang memiliki rentang resistivitas 0.5 – 3  $\Omega$ m, maka nilai yang lebih sesuai ialah uji resistivitas pada sampel B. Ada satu titik kedalaman yang menunjukkan nilai resistivitas kedua sampel cukup besar yakni lebih besar dari 7  $\Omega$ m. Hal ini dikarenakan nilai kandungan air pada kedalaman tersebut kurang dari 20%. Dimana nilai kandungan air yang bisa memberikan nilai resistivitas yang valid ialah ~30%. Hubungan yang terjadi antara nilai resistivitas dengan kandungan air ialah semakin besar kandungan air yang ada di dalam lapisan, maka nilai resistivitas yang terhitung akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya dengan catatan belum ada pengaruh-pengaruh lain seperti kandungan logam dan sebagainya.

## 4.5 Analisis Penampang 2-Dimensi

### 4.5.1 Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 1



Gambar 4.9 Penampang Resistivitas Lintasan 1, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan

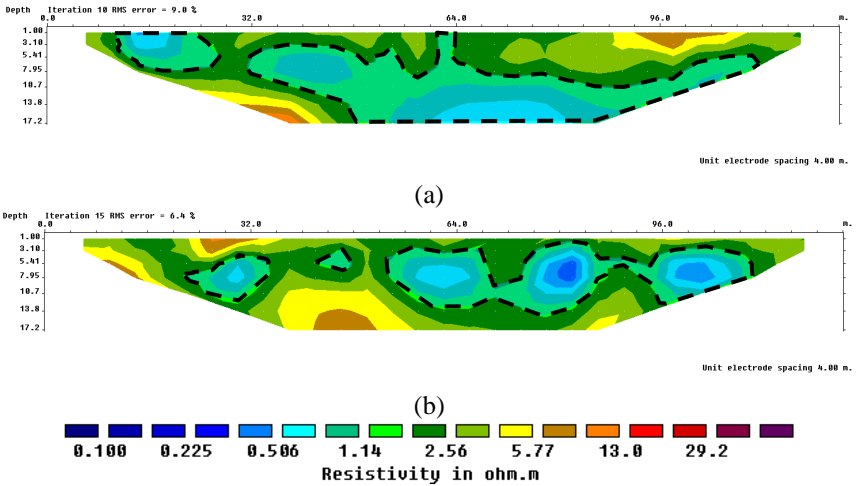
Lintasan 1 berada di bagian selat an TPA Ngipik yang merupakan akses jalan masyarakat menuju Telaga Ngipik. Panjang lintasan yang telah diukur yakni 124 meter, dengan spasi antar elektroda sebesar 4 meter. Lintasan memiliki arah Barat Daya – Timur Laut (elektroda pertama berada di Barat Daya). Pada musim kemarau, pengukuran dilakukan pada sore hari dengan keadaan lintasan relatif kering. Sedangkan pada musim penghujan, pengukuran dilakukan juga pada sore hari dengan kondisi lapangan cenderung basah.

Pada penampang hasil inversi terlihat adanya zona dengan nilai resistivitas cenderung rendah. Untuk musim kemarau (Gambar 4.9 a), nilai resistivitas rendah berkisar pada 0.1 – 1.7  $\Omega$ m. Nilai tersebut diindikasikan sebagai adanya akumulasi fluida. Sedangkan pada musim penghujan (Gambar 4.9 b), juga terlihat adanya akumulasi fluida yang diindikasikan dengan zona resistivitas rendah yang memiliki nilai resistivitas antara 0.225 – 1.7  $\Omega$ m. Zona yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai air lindi. Hal ini dikuatkan dengan adanya kubangan air di dekat lintasan. Air yang berada di kubangan tersebut terlihat keruh dimana dipastikan air tersebut sudah terkontaminasi dengan air lindi.

Perbandingan zona-zona anomali yang muncul dari kedua penampang cukup terlihat jelas. Pada musim kemarau, akumulasi fluida berada cukup dalam bila dibandingkan dengan musim penghujan. karena akumulasi yang rendah karena efek air hujan. Didapatkan nilai resistivitas rendah juga

dikarenakan air lindi yang viskositasnya semakin tinggi dan semakin salin akibat pengupaan yang terjadi.

4.5.2 Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 2

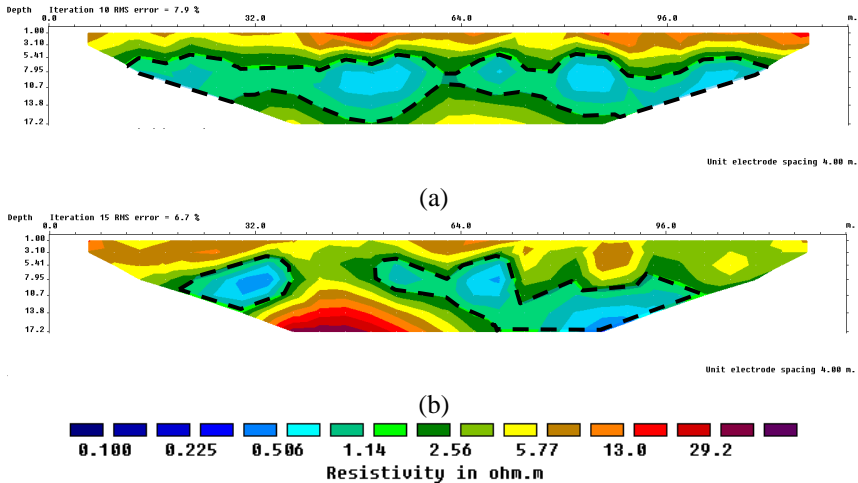


Gambar 4.10 Penampang Resistivitas Lintasan 2, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan

Lintasan 2 berada di sebelah Barat Laut dari Telaga Ngipik Timur, tepat di jalan menuju Telaga Ngipik Barat. Panjang lintasan pengukuran yang dilakukan ialah 124 meter dengan spasi antar elektroda sebesar 4 meter. Lintasan memiliki arah Tenggara – Barat Laut (elektroda pertama berada di Tenggara). Pada musim kemarau pengukuran lintasan kedua dilakukan pada siang hari, juga pada musim penghujan. Kondisi lapangan saat kedua pengukuran relatif kering dan tanah cukup keras.

Pada penampang hasil inversi terlihat adanya zona dengan nilai resistivitas cenderung rendah. Untuk musim kemarau (Gambar 4.10 a), nilai resistivitas rendah berkisar pada 0.5 – 2.5  $\Omega$ m. Nilai tersebut diindikasikan sebagai adanya akumulasi fluida. Sedangkan pada musim penghujan (Gambar 4.10 b), juga terlihat adanya akumulasi fluida yang diindikasikan dengan zona resistivitas rendah yang memiliki nilai resistivitas antara 0.225 – 2.5  $\Omega$ m. Perbandingan zona-zona anomali yang muncul dari kedua penampang cukup terlihat jelas. Pada musim penghujan, fluida terkumpul di permukaan karena proses peresapan masih berlangsung. Nilai resistivitas yang rendah juga diakibatkan kandungan air tersebut berada di dalam tanah lempung yang susah meloloskan air.

### 4.5.3 Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 3



Gambar 4.11 Penampang Resistivitas Lintasan 3, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan

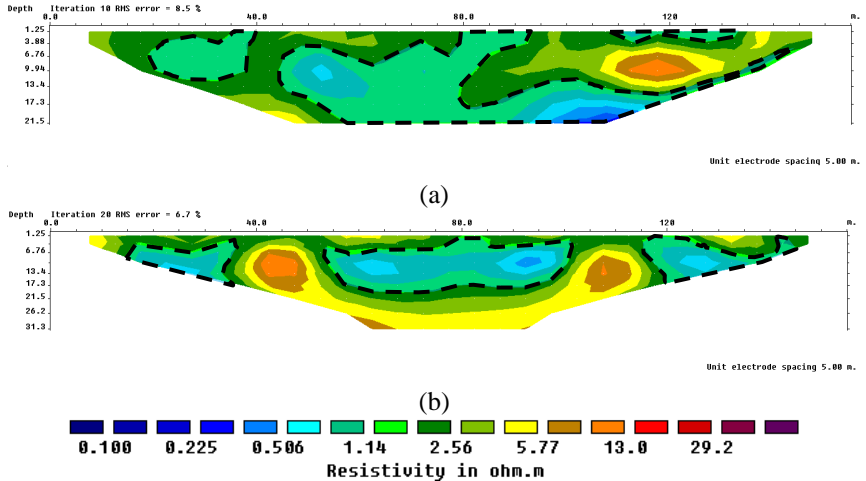
Lintasan 3 berada persis di samping Telaga Ngipik Timur. Panjang lintasan pengukuran yang dilakukan ialah 124 meter dengan spasi antar elektroda sebesar 4 meter. Lintasan ketiga ini searah dan sejajar dengan lintasan kedua dengan arah Tenggara – Barat Laut. Pengukuran pada lintasan ini dilakukan saat pagi hari untuk kedua musim. Kondisi tanah di lapangan pengukuran cukup basah dan gembur.

Penampang hasil inversi menunjukkan bahwa pada musim kemarau (Gambar 4.11 a), terdapat beberapa titik anomali pada kedalaman 2-3 meter dengan nilai resistivitas berkisar dari 0.5 – 1.7  $\Omega\text{m}$  hingga kedalaman 8 meter. Anomali ini diinterpretasikan sebagai rembesan dari air telaga. Sedangkan pada musim penghujan (Gambar 4.11 b) ada perubahan zona anomali yang lebih ke permukaan. Pada musim penghujan anomali fluida dengan resistivitas 0.3 – 2.56  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman yang hampir sama.

Perubahan kedalaman anomali yang terjadi tidak terlalu signifikan. Perubahan yang terjadi diperkirakan akibat peresapan dari air hujan yang terjadi beberapa hari sebelumnya. Seluruh anomali diinterpretasikan sebagai resapan dari air telaga. Hal ini dikarenakan posisi lintasan ke-3 ini hanya berjarak 3 meter saja dari tepi telaga Ngipik Timur



#### 4.5.4 Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 4



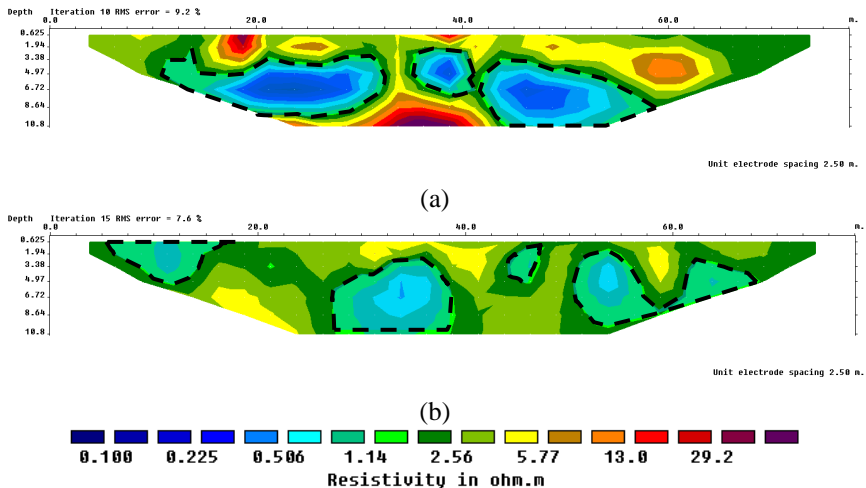
Gambar 4.12 Penampang Resistivitas Lintasan 4, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan

Lintasan keempat berada di sebelah Timur Laut dari pembuangan sampah Timur yang sudah overload. Kondisi lapangan cukup keras dan kering pada dua kali pengukuran (musim kemarau dan penghujan). Lintasan pengukuran dibentang sepanjang 155 meter dengan spasi antar elektroda sebesar 5 meter. Pada musim kemarau, pengukuran dilakukan saat pagi hari yang cukup terik dan pada musim penghujan pengukuran dilakukan pada sore hari menjelang hujan. Pengukuran pada musim kemarau dilakukan hingga variasi  $n=10$ , pada musim penghujan dilakukan hingga variasi  $n=15$ . Sehingga hasil inversi memiliki kedalaman yang berbeda.

Penampang hasil inversi menunjukkan perubahan yang cukup signifikan. Pada penampang hasil inversi musim kemarau (Gambar 4.12 a) terdapat zona dengan nilai resistivitas rendah pada kedalaman 14 meter dengan nilai resistivitas sebesar  $0.1 - 0.5 \Omega\text{m}$ . Anomali ini diinterpretasikan sebagai zona air lindi. Sedangkan pada musim penghujan (Gambar 4.12 b) anomali resistivitas rendah sebesar  $0.5 - 1 \Omega\text{m}$ , berada dekat dengan permukaan pada kisaran kedalaman 3 meter.

Hal ini menunjukkan adanya perubahan akumulasi air akibat air hujan yang terjadi beberapa kali pada hari sebelumnya. Akumulasi air ini tercatat lebih dangkal karena hujan yang terjadi beberapa kali. Selain itu, tanah yang cukup keras serta terdapat sungai di belakang lintasan membuat air mudah mengalir di permukaan.

## 4.5.5 Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 5



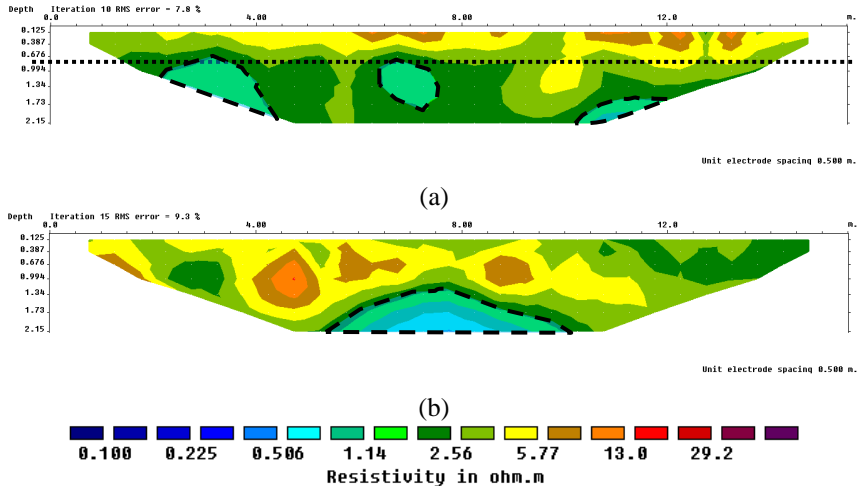
Gambar 4.13 Penampang Resistivitas Lintasan 5, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan

Lintasan kelima berada di dekat Telaga Ngipik Barat dekat dengan lokasi pembuangan sampah baru. Pengukuran di lintasan ini untuk kedua musim dilakukan saat siang hari. Panjang lintasan yang diukur ialah 77.5 meter dengan spasi antar elektroda sebesar 2.5 meter. Kondisi tanah di lapangan pengukuran relatif gembur karena merupakan daerah persawahan.

Pada musim kemarau (Gambar 4.13 a) terlihat lebih jelas ada akumulasi fluida pada kedalaman 6-10 meter. Sedangkan pada musim hujan (Gambar 4.13 b) zona resistivitas rendah hampir merata karena saturasi yang terjadi akibat air hujan. Pada musim kemarau memang kondisi lapangan cukup kering dan banyak retakan di sawah.

Pada musim kemarau, kondisi tanah retak-retak dan kubangan air di samping lintasan menampung air dalam jumlah yang tidak banyak. Area persawahan di sekitar juga dalam keadaan yang kering tidak ada tanaman. Sedangkan pada musim penghujan, areal persawahan sudah dipenuhi tanaman padi yang menyiratkan bahwa tanah sudah mulai subur kembali serta kondisi tanah sudah mulai banyak terisi oleh air. Akumulasi air di bawah permukaan sangat tinggi dan pada musim kemarau, ketika sangat panas maka akan menyebabkan air tersebut menguap dan menyisakan air lindi yang semakin kental. Air lindi yang semakin kental akan memberikan respon yang sangat konduktif.

#### 4.5.6 Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 6



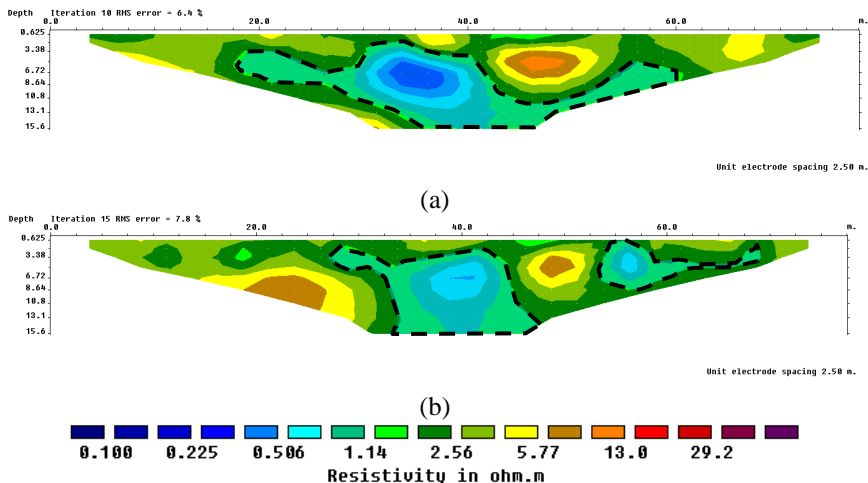
Gambar 4.14 Penampang Resistivitas Lintasan 6, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan

Lintasan keenam berada di dekat sumur bor, bagian Barat dari area pembuangan sampah Barat yang overload. Lintasan ini memiliki panjang 15.5 meter dengan spasi antar elektroda sebesar 0.5 meter. Hal ini ditujukan untuk mengorelasikan data dengan hasil bor. Kondisi lapangan lintasan keenam merupakan area persawahan dan bersebelahan langsung dengan kolam atau kubangan air.

Penampang hasil inversi musim kemarau (Gambar 4.14 a) menunjukkan bahwa nilai resistivitas rendah hampir merata dan tidak ditemukan secara signifikan anomalnya. Nilai resistivitas memiliki rentang 0.5 – 13  $\Omega$ m. Muka air tanah ketika pengukuran musim kemarau cukup dangkal, 75 cm. Bila dilihat pada penampang hasil inversi, maka nilai resistivitas 5 – 13  $\Omega$ m merupakan lempung di permukaan. Dan dari batas muka air tanah ke bawah dapat diinterpretasikan bahwa lapisan tanah tersaturasi oleh air. Dibuktikan dengan analisis data bor yang menyebutkan bahwa kandungan air pada kedalaman 1.5 – 2 meter sebesar 51.46 %.

Sedangkan pada musim penghujan (Gambar 4.14 b), ada sedikit anomali yang terlihat pada kedalaman 2 meter dengan nilai resistivitas 0.15 – 0.75  $\Omega$ m. Anomali ini diperkirakan karena pengaruh dari air hujan yang turun sehingga saturasi lapisan lebih naik ke permukaan.

## 4.5.7 Analisis Penampang Resistivitas Lintasan 7



Gambar 4.15 Penampang Resistivitas Lintasan 7, (a) Musim Kemarau, (b) Musim Penghujan

Lintasan 1 berada di bagian urata TPA Ngipik. Panjang lintasan yang telah diukur yakni 77.5 meter, dengan spasi antar elektroda sebesar 2.5 meter. Lintasan memiliki arah Utara – Selatan (elektroda pertama berada di utara). Pada musim kemarau, pengukuran dilakukan pada sore hari dengan keadaan lintasan relatif kering. Sedangkan pada musim penghujan, pengukuran dilakukan juga pada sore hari dengan kondisi lapangan cenderung basah.

Pada penampang hasil pengukuran terlihat adanya zona dengan nilai resistivitas cenderung rendah. Untuk musim kemarau (Gambar 4.15 a), nilai resistivitas rendah berkisar pada 0.1 – 1.7  $\Omega$ m. Nilai tersebut diindikasikan sebagai adanya akumulasi fluida. Sedangkan pada musim penghujan (Gambar 4.15 b), juga terlihat adanya akumulasi fluida yang diindikasikan dengan zona resistivitas rendah yang memiliki nilai resistivitas antara 0.225 – 1.7  $\Omega$ m. Fluida ini diinterpretasikan sebagai air lindi yang sudah meresap ke bawah permukaan.

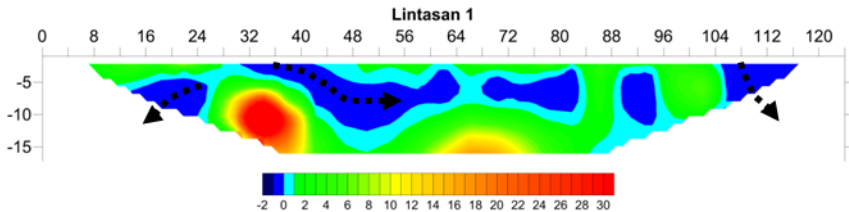
Anomali dari dua pengukuran dua musim yang berbeda menunjukkan hasil yang cukup konstan. Pada hasil inversi musim kemarau maupun penghujan terlihat resistivitas rendah berada di titik tengah lintasan. Anomali yang muncul diperkirakan dari kubangan air lindi yang bersebelahan langsung dengan lintasan pengukuran. Rembesan air lindi berada pada kedalaman 5 meter hingga 10 meter.

#### 4.6 Analisis Penampang Beda Resistivitas

Beda resistivitas dihasilkan dari pengurangan antara hasil inversi musim penghujan dengan hasil inversi musim kemarau kemudian dibagi dengan musim kemarau. Beda resistivitas ini berbanding lurus dengan berat kandungan air yang tersaturasi di bawah permukaan area pengukuran. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai beda resistivitas.

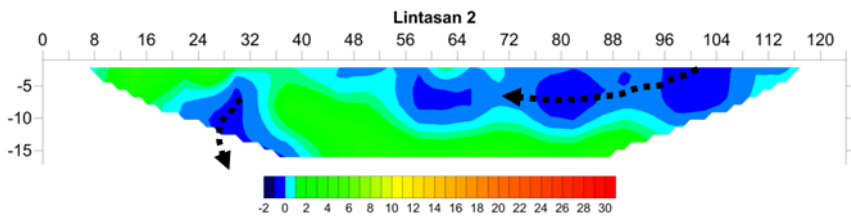
$$\Delta\rho = \frac{\rho_{penghujan} - \rho_{kemarau}}{\rho_{kemarau}} \approx -\Delta W_c \quad (4.1)$$

Persamaan ini diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Audebert dkk (2016) tentang penggunaan metode geolistrik *time-lapse* dan pemodelan aliran lindi bawah permukaan. Semakin besar atau semakin positif nilai beda resistivitas menunjukkan bahwa ada penurunan kandungan air / pengurangan berat fluida di bawah permukaan. Sedangkan bila semakin negatif atau semakin kecil nilai beda resistivitasnya, maka zona tersebut semakin basah dan ada peningkatan kuantitas fluida (Audebert dkk, 2016). Sehingga dapat ditentukan perkiraan arah aliran fluida yang ditunjukkan dengan garis hitam berpanah pada setiap lintasan. Berikut ini merupakan interpretasi beda resistivitas pada setiap lintasan.



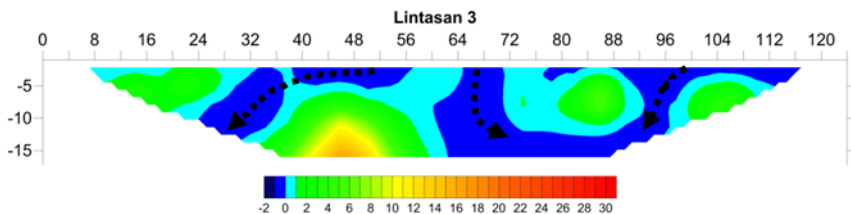
Gambar 4.16 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 1

Pada lintasan satu (Gambar 4.16), ada satu titik yang mengalami penambahan fluida cukup tinggi yakni pada meter ke 48 yang masuk pada meter ke 36. Ada setidaknya 3 titik yang menjadi zona meresapnya fluida ke bawah permukaan yakni pada meter ke 36 dan 104 hingga ujung lintasan. Bila merujuk pada penampang hasil inversi lintasan satu pada Gambar 4.9, titik-titik tersebut memang memiliki kontras resistivitas yang dapat diperkirakan terdapat rekahan kecil sebagai jalan masuk fluida menembus lapisan. Bila melihat kondisi lintasan, sejajar dengan lintasan terdapat kubangan dari tampungan air lindi dan air hujan. Diperkirakan penambahan kandungan air yang terukur tersebut merupakan suplai dari kubangan air di samping lintasan. Selain dari air yang masuk dari atas permukaan tanah karena kondisi tanah retak-retak dan ketika terjadi hujan cukup deras maka akan terjadi genangan air pada beberapa titik.



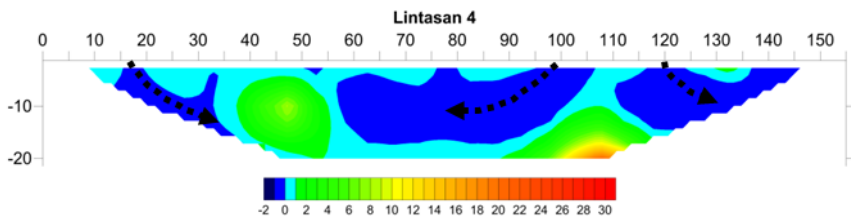
Gambar 4.17 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 2

Pada lintasan dua (Gambar 4.17), penambahan fluida cenderung masih di permukaan yang ditunjukkan dengan penampang berwarna biru tua. Bila melihat pada Gambar 4.10 penampang hasil inversi, titik tersebut memiliki nilai resistivitas yang kontras lebih tinggi dibandingkan dengan bagian penampang yang lainnya dan menjadi kecil pada musim penghujan. Hal tersebut menunjukkan bahwa posisi tersebut memang dilalui oleh air. Kondisi lintasan dua pada permukaan juga cukup keras dan banyak retakan karena merupakan tanah urukan jalan sehingga pada permukaan resapan air cukup besar.



Gambar 4.18 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 3

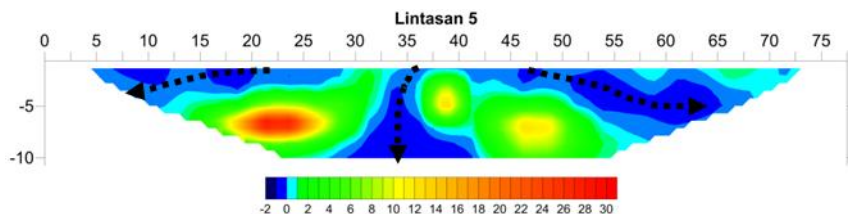
Pada lintasan tiga (Gambar 4.18), ada satu titik yang memiliki perubahan cukup besar yakni pada meter ke 64-96 kedalaman 12-15 meter. Titik yang menjadi tempat perembesan yakni hampir di seluruh permukaan pada meter ke 32 hingga ujung lintasan, utamanya di meter ke 68 dan 96. Pada lintasan ini, kondisi lintasan memang memiliki permukaan cukup keras dan ada retakan-retakan. Di sejajar lintasan juga terdapat cekungan untuk aliran air.



Gambar 4.19 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 4

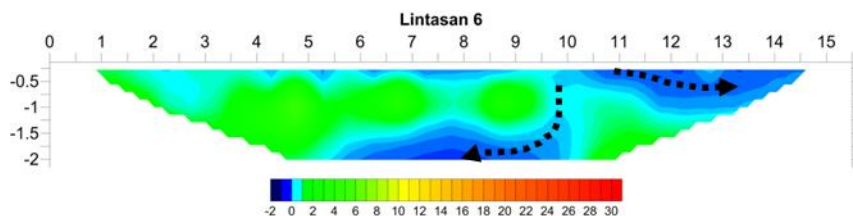
Lintasan empat terdapat dua titik yang mengalami penambahan kandungan air yang signifikan dibandingkan area yang lain. Pada meter ke 60

hingga 110. Pada titik tersebut di permukaan lintasan memang terdapat aliran air lindi. Sehingga bisa diinterpretasikan bahwa penambahan kandungan air juga didukung oleh air lindi selain penambahan akibat air hujan. Perubahan resistivitas pada lintasan empat ini hampir menyeluruh di seluruh lintasan. Hal ini dikarenakan kondisi lintasan memang dekat dengan selokan aliran air lindi dan air hujan.



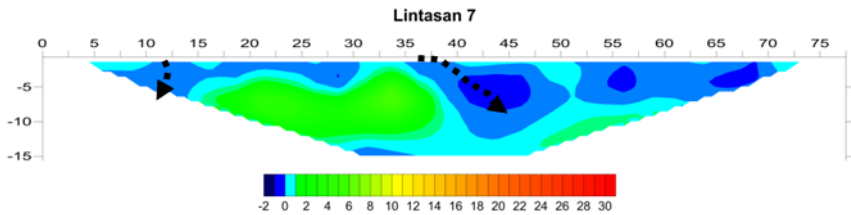
Gambar 4.20 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 5

Lintasan lima yang berada di dekat telaga ngipik Barat dan di area persawahan ini hampir di seluruh permukaannya terjadi penambahan kandungan air. Namun ada satu titik yang menjadi tempat perembesan air yakni pada meter ke 35. Di lapangan, posisi tersebut bersebelahan dengan pohon pisang. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pada lintasan lima ini penambahan kandungan air didapatkan dari akumulasi air yang ada pada akar pohon serta retakan-retakan di sepanjang lintasan.



Gambar 4.21 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 6

Lintasan enam yang berada di titik bor ini memiliki zona penambahan kandungan air yang tidak begitu signifikan. Sepanjang lintasan pada permukaan hampir seluruhnya terdapat penambahan kandungan air. Hal ini dikarenakan posisi lintasan yang berada di tepi persawahan di mana ketika musim kemarau kondisi tanah retak-retak pada permukaannya. Dan pada musim penghujan karena efek air hujan menjadi gembur. Bila melihat hasil inversi lintasan 6 (Gambar 4.14) memang tidak terlihat posisi-posisi yang berpotensi menjadi tempat rembesan namun terlihat saturasi yang cukup besar.

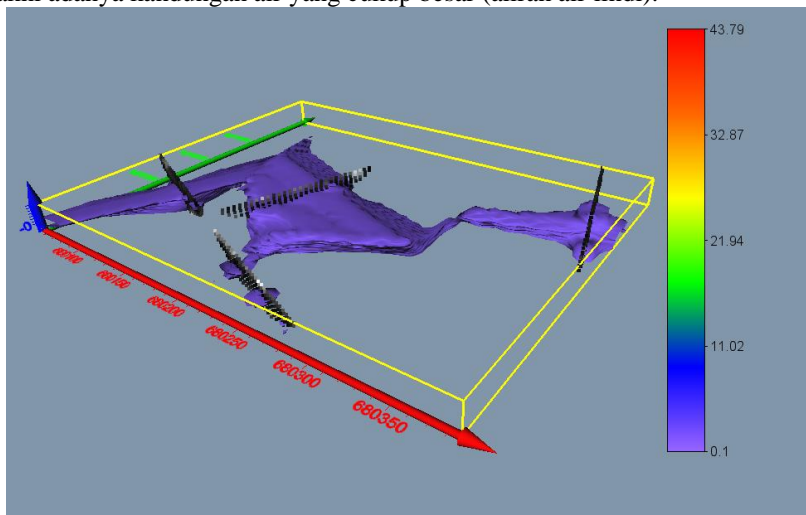


Gambar 4.22 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 7

Pada lintasan tujuh tampak jelas area yang mengalami penambahan kandungan air. Hampir di seluruh permukaan lintasan terlihat ada penambahan kandungan air. Zona yang mengalami penambahan kandungan air pada kedalaman 5-8 meter sama dengan zona dengan nilai resistivitas rendah pada hasil inversi lintasan tujuh (Gambar 4.15). Diyakini pada zona tersebut memang terdapat rembesan air lindi yang cukup besar. Hal ini dikarenakan posisi lintasan sangat dekat dengan kubangan air lindi di zona TPA bagian Barat.

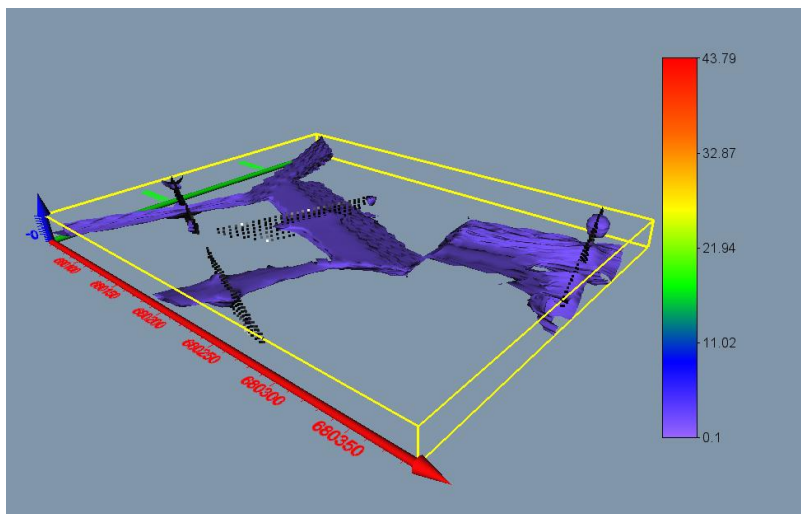
#### 4.7 Analisis Penampang 3-Dimensi

Penampang 3D dari hasil inversi dibuat pada lintasan 1-4 saja. Hal ini dikarenakan jarak lintasan 5,6 dan 7 cukup jauh sehingga apabila dipaksakan diikutsertakan dalam penampang 3D akan menimbulkan distribusi yang tidak normal terhadap proses *gridding*. Selanjutnya dibuat penampang 3D dengan hanya menampilkan nilai resistivitas target yang merupakan anomali rendah yakni adanya kandungan air yang cukup besar (aliran air lindi).



Gambar 4.23 Penampang 3D 4 lintasan Musim Kemarau



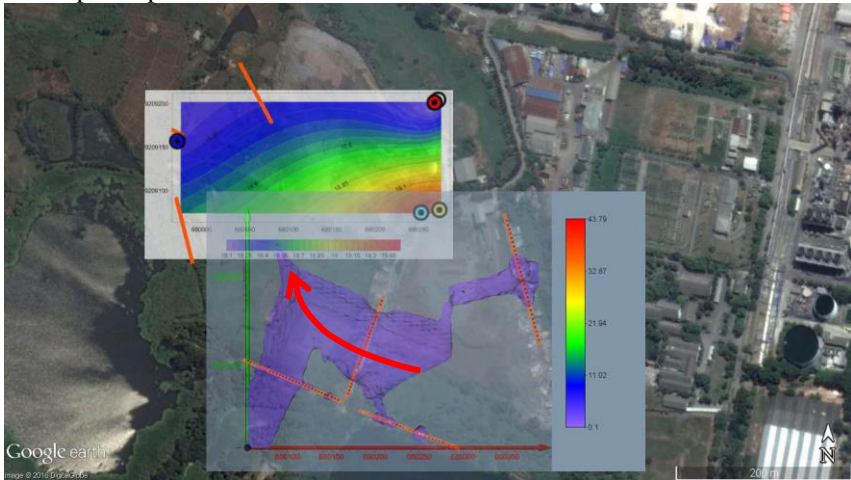


Gambar 4.24 Penampang 3D 4 lintasan Musim Penghujan

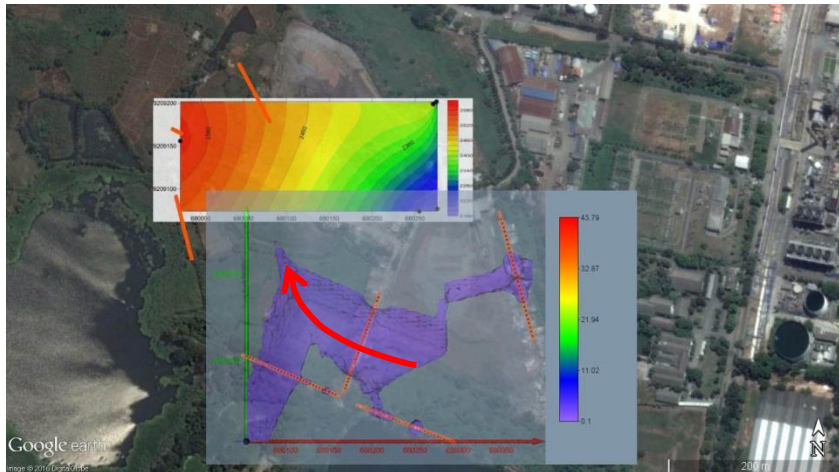
Nilai resistivitas yang digunakan ialah kurang dari sama dengan  $1.5 \Omega\text{m}$ . Nilai yang diinterpretasikan sebagai air lindi ialah  $0.1 - 1.5 \Omega\text{m}$ . Dasar yang digunakan dalam menentukan nilai tersebut diantaranya, tanah yang mendominasi lapangan penelitian ialah lempung di mana lempung memiliki nilai resistivitas yang kecil yakni  $1 - 100 \Omega\text{m}$ . Nilai resistivitas lempung tersebut menunjukkan dalam kondisi tersaturasi penuh oleh air, maka nilai resistivitas bisa mencapai  $1 \Omega\text{m}$ . Sedangkan dalam kondisi kering maka nilai resistivitas lempung bisa mencapai  $100 \Omega\text{m}$ . Yang kedua, hasil uji resistivitas sampel tanah skala laboratorium menunjukkan bahwa nilai resistivitas lempung dengan saturasi air lindi memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan ketika lempung tersaturasi oleh air. Yang ketiga, korelasi antara hasil uji resistivitas skala laboratorium dengan lintasan enam dan hasil pemboran menunjukkan pada kedalaman  $1.5 - 2$  meter, nilai resistivitas hasil inversi Resistivitas 2D memiliki nilai  $< 2 \Omega\text{m}$  dengan kondisi saturasi  $> 50\%$  dan hasil uji resistivitas laboratorium pada kondisi saturasi tersebut kurang dari  $2 \Omega\text{m}$  pula.

Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 memperlihatkan bahwa antara musim kemarau dan musim penghujan tidak terdapat banyak perbedaan yang signifikan. Secara garis besar, zona dengan nilai resistivitas tersebut ada pada setiap lintasannya. Pada musim kemarau nilai dengan resistivitas rendah cenderung lebih banyak pada lintasan 1, 2 dan 4. Hal ini bisa disebabkan karena air lindi yang mengalami penguapan sehingga kekentalannya meningkat dan resistivitasnya mengecil. Sedangkan pada musim penghujan terdapat perbedaan pada lintasan 3, yang mana diinterpretasikan sebagai rembesan dari telaga yang

mengalami peningkatan volume air akibat musim hujan sehingga lebih intens meresap ke lapisan tanah.



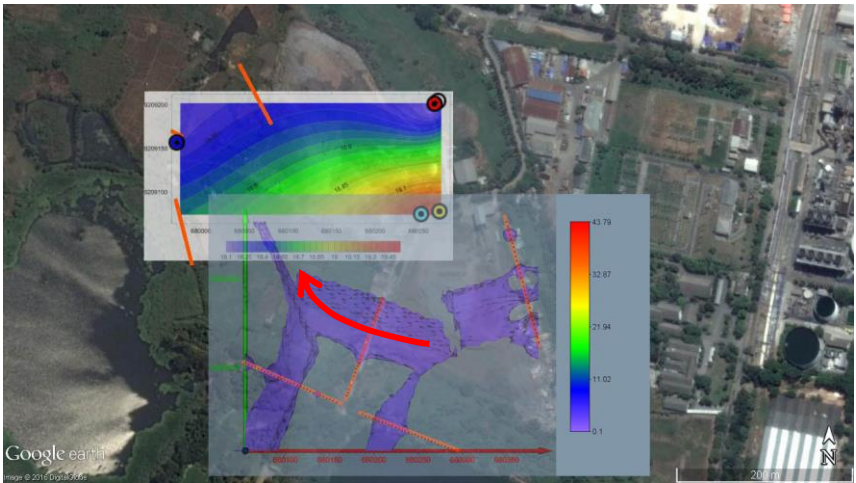
Gambar 4.25 Overlay Penampang 3D Musim Kemarau dengan Kontur Elevasi Muka Air Tanah



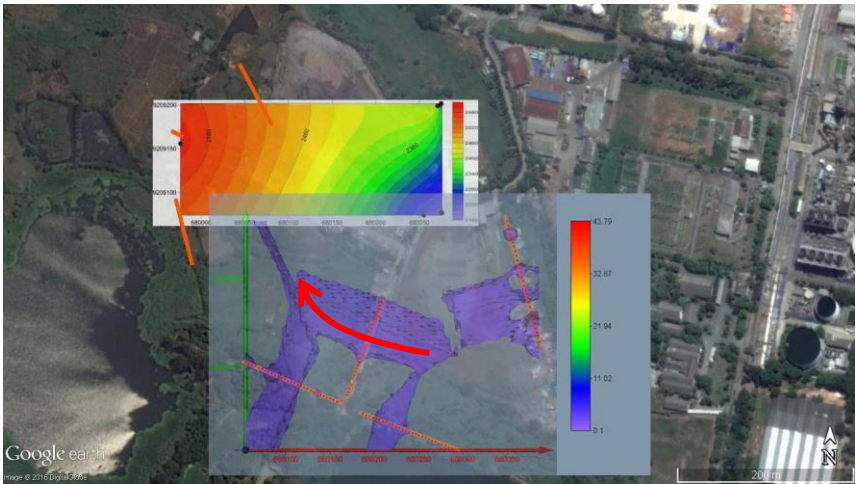
Gambar 4.26 Overlay Penampang 3D Kemarau dengan Kontur TDS

Bila dilakukan *overlay* dengan kontur elevasi muka air tanah dan kontur TDS, bisa dilihat pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26 untuk musim kemarau serta Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 untuk musim penghujan, menunjukkan bahwa elevasi muka air tanah mengarah ke Utara condong ke Barat dan begitu pula dengan kontur TDS. TDS dari sumur bor dan sumur monitoring yang

berada di dekat kantor meningkat pada sumur bor sawah dan sumur di IPAL. Hal ini menunjukkan bahwa pola persebaran air lindi yang terjadi yakni dari area pembuangan sampah timur yang sudah overload, lindi menyebar ke arah elevasi air tanah yang lebih rendah yakni ke arah Tenggara – Barat Laut.



Gambar 4.27 Overlay Penampang 3D Musim Penghujan dengan Peta Kontur Elevasi Muka air Tanah



Gambar 4.28 Overlay Penampang 3D Musim Penghujan dengan Peta Kontur TDS

## 4.8 Pembahasan Umum

Penelitian ini memuat analisa untuk data sekunder dan data primer. Hasil pemboran menjadi pendukung interpretasi pada lintasan pengukuran Resistivitas 2D utamanya pada lintasan 6 (Gambar 4.14). Data hasil pemboran menunjukkan bahwa dominasi lempung hingga kedalaman 30 meter dan saturasi pada kedalaman 1.5 – 2 m. Nilai tersebut sesuai dengan hasil uji resistivitas skala laboratorium dan juga hasil inversi pada lintasan 6.

Dari analisa yang sudah dilakukan terdapat beberapa hasil identifikasi persebaran air lindi pada lintasan pengukuran yakni telah terjadi penyebaran air lindi pada lintasan 1, 2, 4, 5, 6 dan 7. Pada lintasan tersebut terdapat anomali nilai resistivitas rendah sebesar 0.1 – 1.5  $\Omega$ m. Sedangkan pada lintasan 3, diinterpretasikan belum terdapat sebaran air lindi. Adanya anomali nilai resistivitas rendah disebabkan tingginya saturasi air dari telaga dan tambahan dari air hujan. Posisi dari lintasan 3 yakni hanya 3 meter saja dari tepian Telaga Ngipik Timur. Sehingga timbul anomali resistivitas rendah yang masuk dalam rentang air lindi. Hasil dari perhitungan beda resistivitas juga menunjukkan pengaruh yang cukup signifikan dari air hujan terhadap perubahan nilai resistivitas pada tiap-tiap lintasan.

Selanjutnya dilakukan perhitungan secara teoritis terkait resapan yang terjadi dalam kurun waktu pengoperasian TPA hingga saat ini. TPA Ngipik berdiri dan beroperasi sejak tahun 2003 sehingga sampai saat ini sudah 14 tahun berdiri. Perhitungan kedalaman resapan yang terjadi menggunakan hubungan permeabilitas dengan waktu. Nilai permeabilitas dari tanah di TPA Ngipik ialah  $6 \times 10^{-8}$  m/s dari analisis hasil pemboran di laboratorium Teknik Sipil ITS. Sehingga perhitungan capaian kedalaman resapan secara teoritis ialah sebagai berikut :

$$h = K \times t \quad (4.2)$$

$$h = 6 \times 10^{-8} \frac{m}{s} \times 14 \text{ th} \times 31536000 \text{ s}$$

$$h = 27.6 \text{ m}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan bahwa secara teori, capaian resapan air lindi yang sudah terjadi selama 14 tahun sejak TPA Ngipik berdiri ialah 27.6 m.

Hasil inversi 2D menunjukkan bahwa pada lintasan dengan jangkauan kedalaman paling besar (spasi antar elektroda lebih besar dan variasi n lebih banyak) yakni lintasan 4 (Gambar 4.12), capaian kedalaman air lindi terlihat pada kedalaman lebih dari 21 m dengan nilai resistivitas kurang dari 1.5  $\Omega$ m. Hal ini menunjukkan bahwa capaian kedalaman tersebut tidak lebih dari kedalaman hasil perhitungan teoritis. Sehingga ada kesesuaian untuk capaian kedalaman rembesan air lindi.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil identifikasi persebaran air lindi dari penelitian yang sudah dilakukan ialah sebagai berikut :
  - Lintasan yang teridentifikasi telah terjadi penyebaran air lindi ialah lintasan 1, 2, 4, 5, 6 dan 7.
  - Nilai resistivitas hasil inversi yang diinterpretasikan sebagai sebaran air lindi ialah  $0.1 - 1.5 \Omega m$ .
  - Lintasan 3 memiliki anomali resistivitas rendah namun lebih condong akibat pengaruh air hujan dan air telaga.
  - Penetrasi rembesan air lindi secara teori ialah 27.6 m dan pada hasil pengukuran capaian rembesan paling dalam ialah ~21 m
- Persebaran air lindi memiliki pola dari Tenggara – Barat Laut mengikuti kontur elevasi muka air tanah.
- Perbandingan pola persebaran air lindi pada musim kemarau dan musim penghujan tidak terlalu signifikan, hanya terdapat perbedaan sebaran anomali resistivitas rendah yang lebih banyak pada musim kemarau.

### **5.2 Saran**

Saran yang penulis diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya ialah:

- Perlunya penambahan sumur pantau di area bagian luar TPA Ngipik sebagai kontrol kualitas air.
- Penambahan lintasan pada bagian Barat Laut TPA Ngipik sesuai dengan pola persebaran air lindi.
- Penggunaan metode geofisika yang terpadu untuk memetakan pola sebaran air lindi yang ada di TPA Ngipik dan area yang lebih luas.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahsin, A. (2016). *Identifikasi Lindi dengan Metode Resistivitas di Sekitar Daerah Tempat Pembuangan Akhir Sampah Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta*. Skripsi, UIN Sunan Kalijaga, Program Studi Fisika, Yogyakarta.
- Ali, M. (2011). *Monograf Rembesan Air Lindi (Leachate)*. Surabaya, Jawa Timur: UPN Veteran Jawa Timur.
- Audebert, M., Clement, R., Moreau, S., Duquennoi, C., Loisel, S., & Touze-Foltz, N. (2016). Understanding Leachate Flow in Municipal Solid Waste Landfills by Combining Time-lapse ERT and Subsurface Flow Modelling – Part I : Analysis of Infiltration Shape on Two Different Waste Deposit Cells. *Waste Management*, 165-175.
- BAPPEDA Kabupaten Gresik. (2016). *RPJMD Kabupaten Gresik Tahun 2016-2021*. Gresik, Jawa Timur: BAPPEDA Kabupaten Gresik.
- Bichet, V., Grisey, E., & Aleya, L. (2016). Spatial Characterization of Leachate Plume using Electrical Resistivity Tomography in a Landfill Composed of Old and New Cells. *Engineering Geology*, 211, 61-73.
- Burger, H. R., Sheehan, A. F., & Jones, C. H. (2006). *Introduction to Applied Geophysics*. (L. Wiegman, Ed.) New York, America: W.W Norton & Company.
- Casado, I., Mahjoub, H., Lovera, R., Fernandez, J., & Casas, A. (2015). Use of Electrical Tomography Methods to Determinate the Extension and Main Migration Routes of Uncontrolled Landfill Leachate in Fractured Areas. *Science of the Total Environment*, 506-507, 540-553.
- Dayantolis, W., Ripaldi, A., & Supeni, A. (2016). Penentuan Normal Musim Hujan di Indonesia Berdasarkan Frekuensi Curah Hujan Dasaharian. *Megasains*, 7(1), 25-32.
- Ganiyu, S., B.S., B., Oladunjoye, M., Aizebeokhai, A., & Olurin, O. (2015). Delineation of Leachate Plume Migration using Electrical Resistivity Imaging on Lapite Dumpsite in Ibadan, Southwestern Nigeria. *Geosciences*, 5(2), 70-80.
- Hasanah, M. U., Ardhi, N. D., Iriyanti, M., & Ferani, S. (2015). Analisis Geokimia dan Metode Geolistrik Resistivitas 2D untuk Mengetahui Aliran Lindi di TPA Babakan Ciparay. *Chimica ec Natura Acta*, 3(1), 6-10.

- Loke, M. (2015). *Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Malaysia: M.H. Loke.
- Lopes, D. D., Silva, S. M., Fernandes, F., Texeira, R. S., Celligoi, A., & Antonia, L. H. (2012). Geophysical Technique and Groundwater Monitoring to Detect Leachate Contamination in the Surrounding Area of a Landfill - Londrina (PR-Brazil). *Journal of Environmental Management*, 113, 481-487.
- Mahmudin, I., & Trihadiningrum, Y. (2013). Potensi Ekonomi Timbungan Sampah di TPA Ngipik Kabupaten Gresik. *Seminar Nasional Manajemen Teknologi XIX*, D.2.1-D.2.7.
- Maurya, P., Ronde, V., Fiandaca, G., Balbarini, N., Auken, E., Bjerg, P., et al. (2017). Detailed Landfill Leachate Plume Mapping using 2D and 3D Electrical Resistivity Tomography - with Correlation to Ionic Strength Measured in Screens. *Journal of Applied Geophysics*, 138, 1-8.
- Okpoli, C. C. (2013). Application of 2D Electrical Resistivity Tomography in Landfill Site : A Case Study of Iku, Ikare Akoko, Southwestern Nigeria. *Journal of Geological Research*, 2013, 1-8.
- Omolayo, D., & Tope, F. J. (2014). 2D Electrical Imaging Surveys for Leachate Plume Migration at an Old Dump Site in Ibadan, South Western Nigeria : A Case Study. *International Journal of Geophysics*, 2014, 1-6.
- Parlainggonan, R. H. (2011). *Studi Sebaran Air Limbah Sampah Bagian Utara TPA Bantar Gebang dengan Metoda Resistivity Wenner-Schlumberger*. Skripsi, Universitas Indonesia, Departemen Fisika, Jakarta.
- PT Semen Gresik Indonesia. (2015). *Peringati HUT ke 58 Pabrik Gresik Semen Indonesia Berikan Penghargaan Kesetiaan Kerja Kepada 127 Karyawan Masa Kerja Tertentu*. PT Semen Indonesia. Gresik: PT Semen Indonesia.
- Putra, I. K. (2012). *Identifikasi Arah Rembesan dan Letak Akumulasi Lindi dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger di TPA Temesi Kabupaten Gianyar*. Thesis, Universitas Udayana, Program Pascasarjana, Bali.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Sukardi. (1992). *Peta Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.



- Syukri, M., Saad, R., & Marwan. (2013). Leachate Migration Delineation using 2D Electrical Resistivity Imaging (2-DERI) at Gampong Jawa, Banda Aceh. *EJGE*, 18, 1505-1510.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Trihadiningrum, Y. (1995). *Mikrobiologi Lingkungan*. Surabaya: Teknik Lingkungan-ITS.
- Widyatmoko, H., & Moerdjoko, S. (2002). *Menghindari, Mengolah dan Menyingkirkan Sampah*. Jakarta: Abdi Tandur.
- Wulandari, R. S. (2015). *Identifikasi Pertambahan Persebaran Limbah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang Menggunakan Metode Geolistrik*. Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Jurusan Fisika, Semarang.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## LAMPIRAN

### A. Dokumentasi

- Pengukuran Resistivitas 2D



Gambar A-1 Pengukuran Lintasan 1



Gambar A-2 Pengukuran Lintasan 2



Gambar A-3 Pengukuran Lintasan 3



Gambar A-4 Pengukuran Lintasan 4





Gambar A-5 Pengukuran Lintasan 5



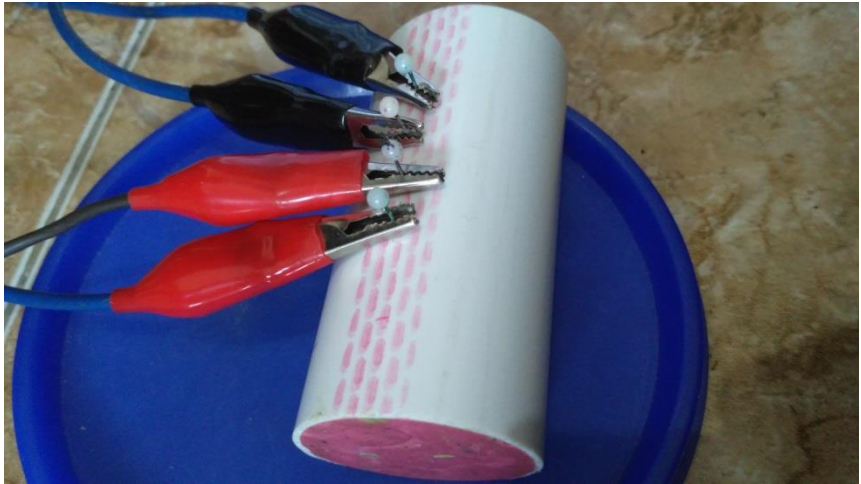
Gambar A-6 Pengukuran Lintasan 6



Gambar A-7 Pengukuran Lintasan 7



- Dokumentasi Pengujian Resistivitas Skala Laboratorium



Gambar A-8 Pengujian Resistivitas Sampel Tanah



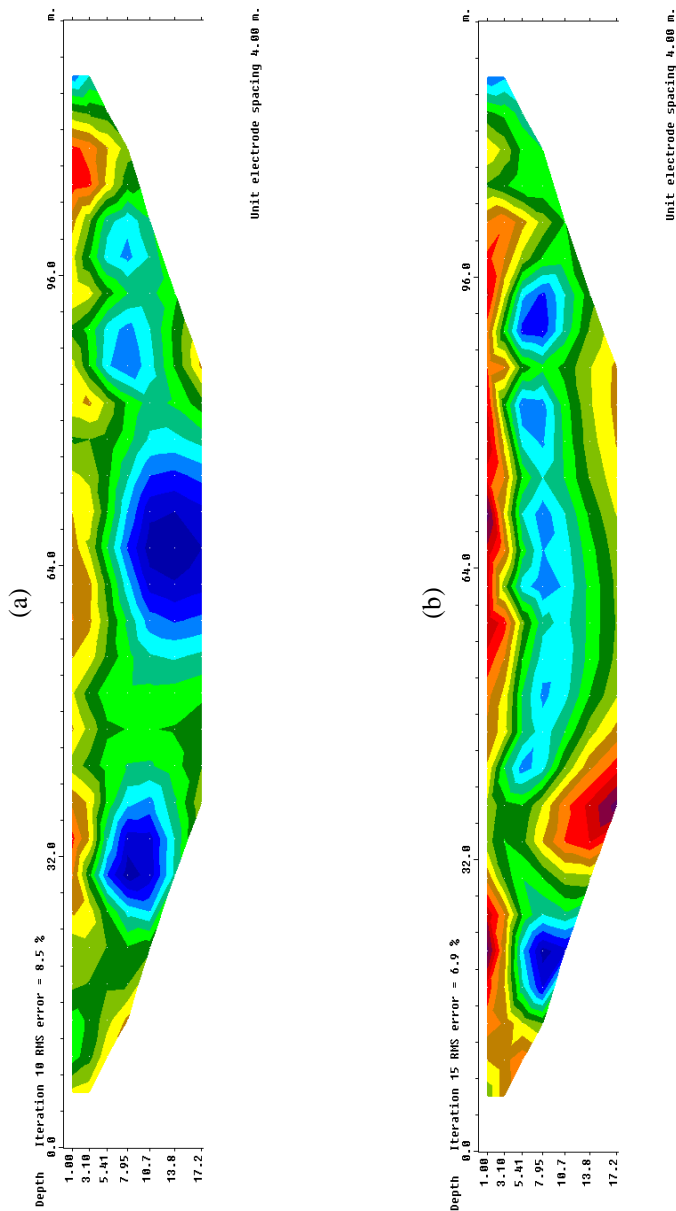
Gambar A-9 Pemboran Pipa Sampel Tanah (kiri), Penetesan Cairan Air Lindi dan Aquades (kanan)

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

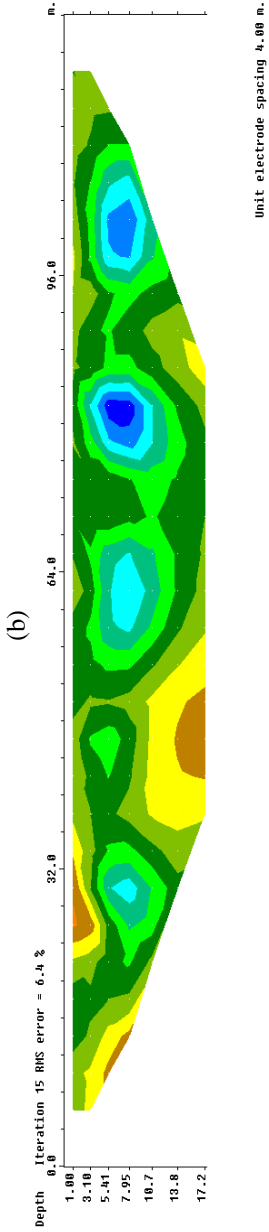
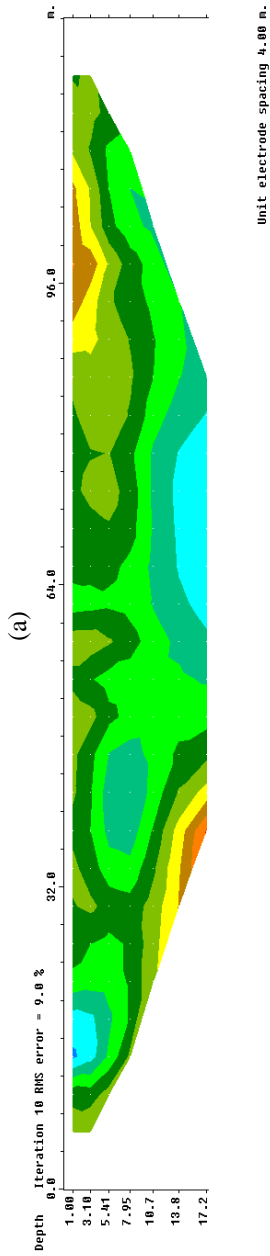


B. Data Penelitian

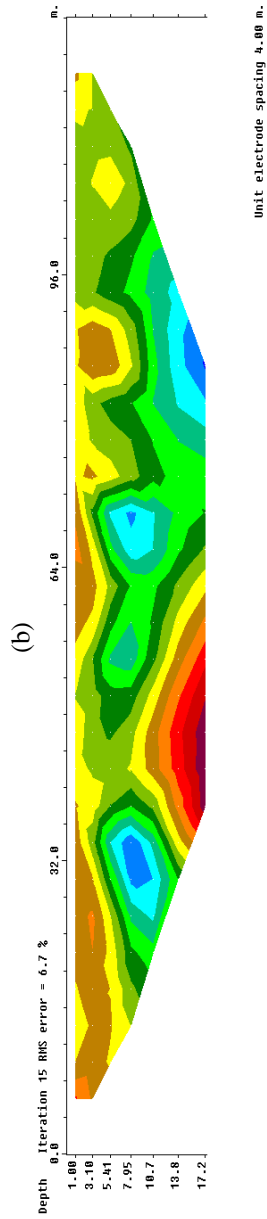
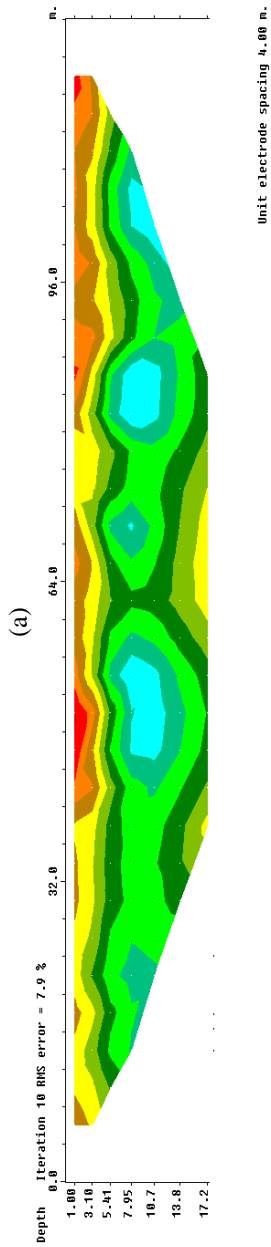
- Penampang Hasil Inversi Resistivitas 2D



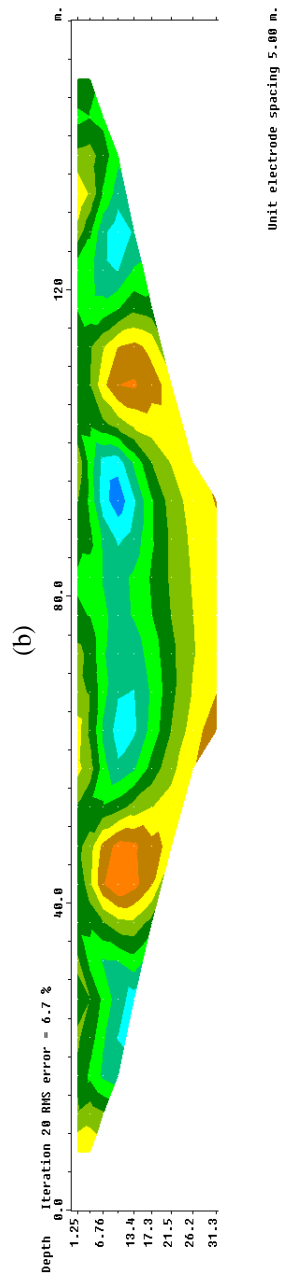
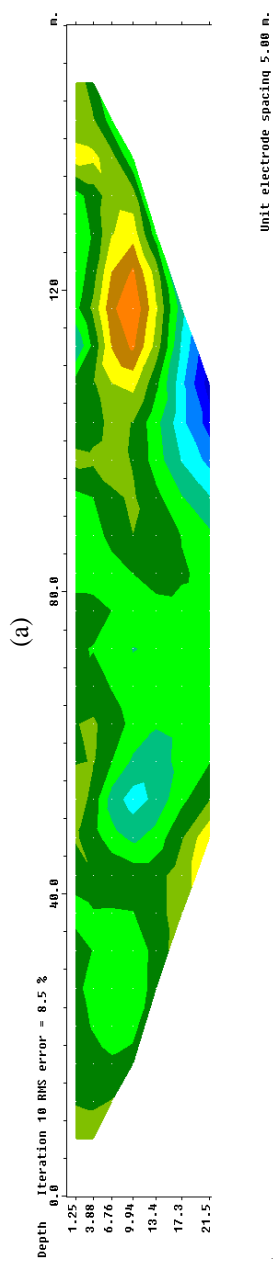
Gambar B-1 Penampang Hasil Inversi Lintasan 1 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan



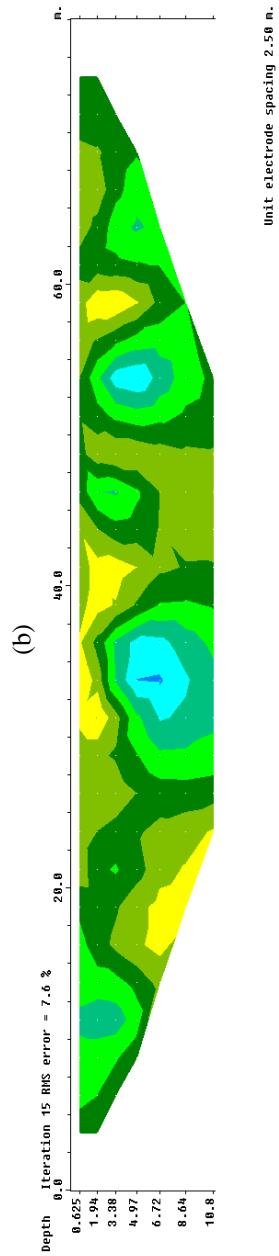
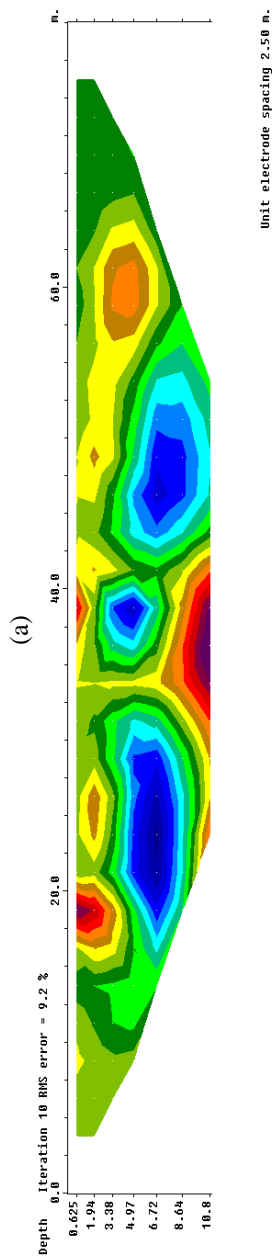
Gambar B-2 Penampang Hasil Inversi Lintasan 2 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan



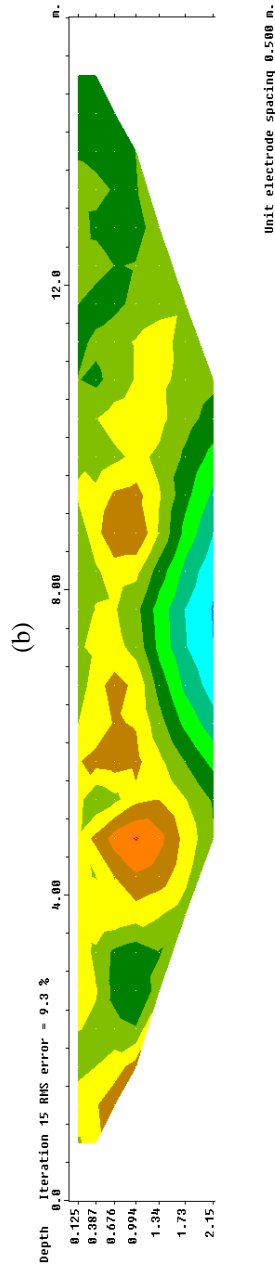
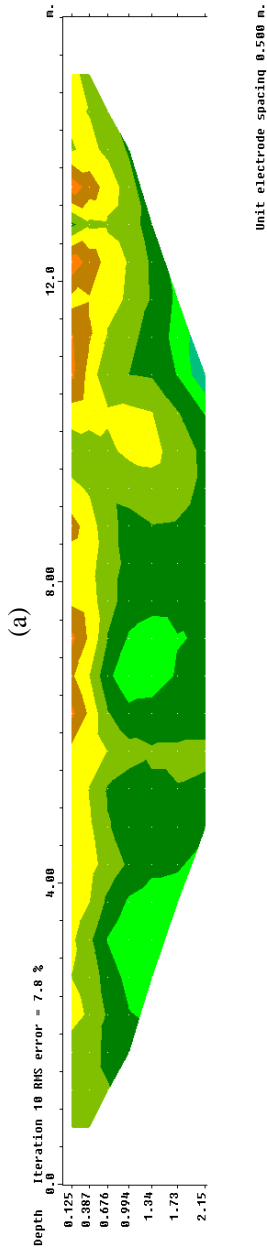
Gambar B-3 Penampang Hasil Inversi Lintasan 3 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan



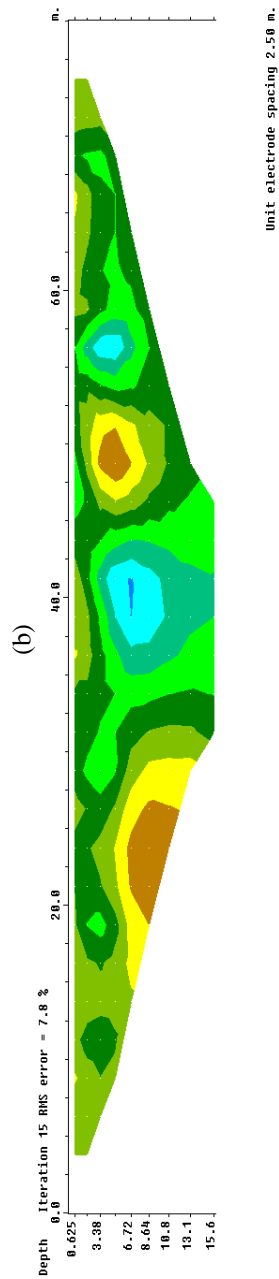
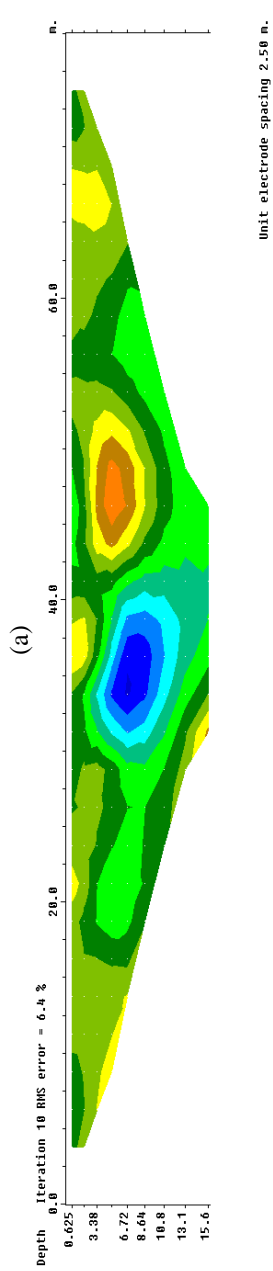
Gambar B-4 Penampang Hasil Inversi Lintasan 4 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan



Gambar B-5 Penampang Hasil Inversi Lintasan 5 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan

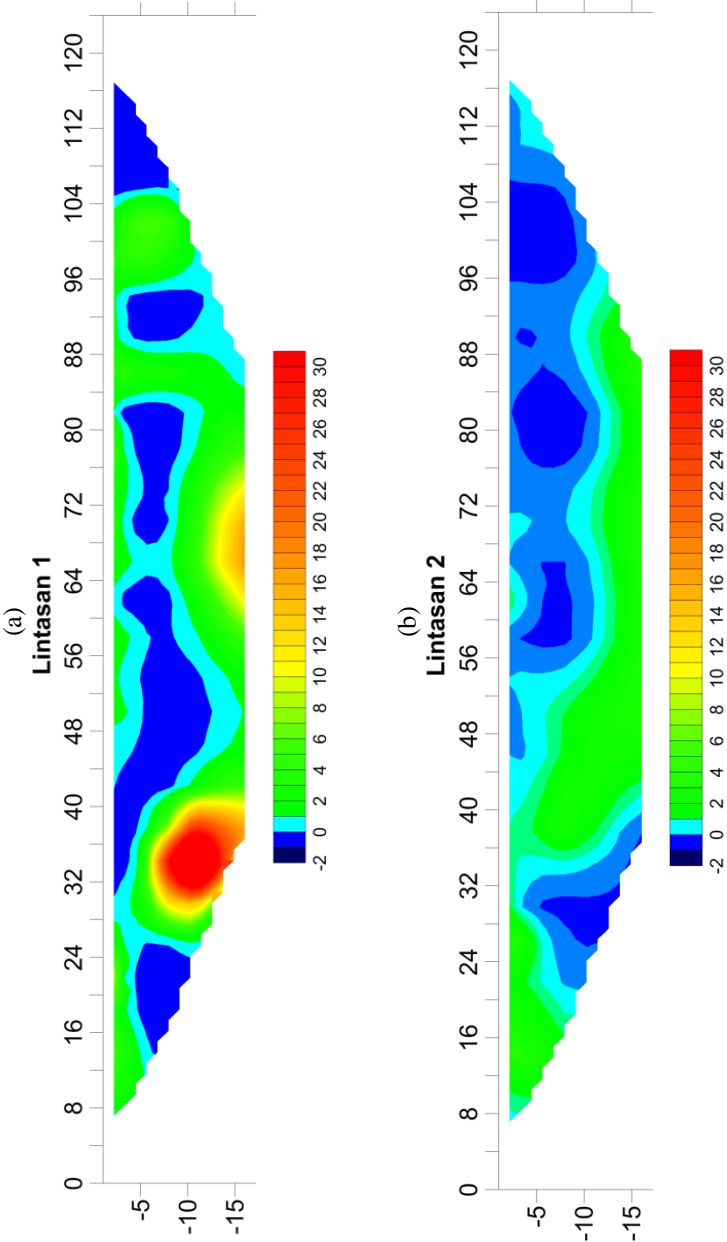


Gambar B-6 Penampang Hasil Inversi Lintasan 6 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan



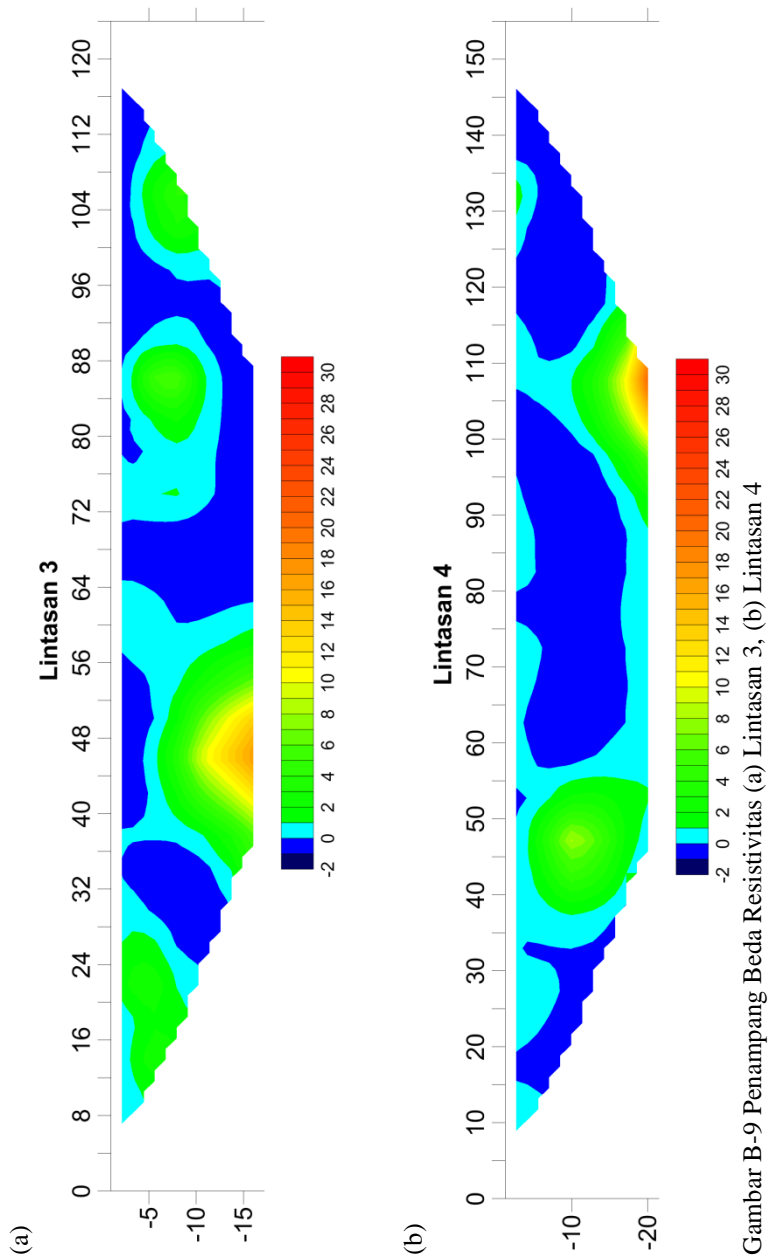
Gambar B-7 Penampang Hasil Inversi Lintasan 7 (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Penghujan

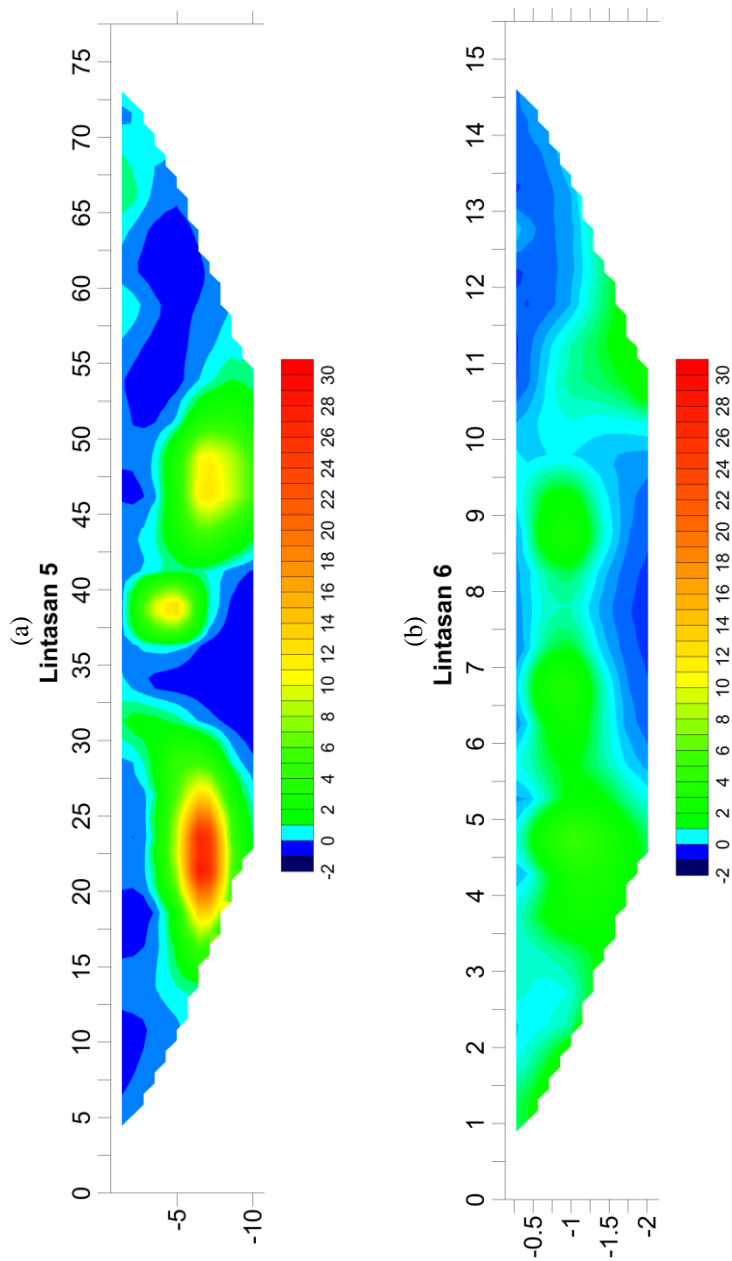
- Penampang Beda Resistivitas



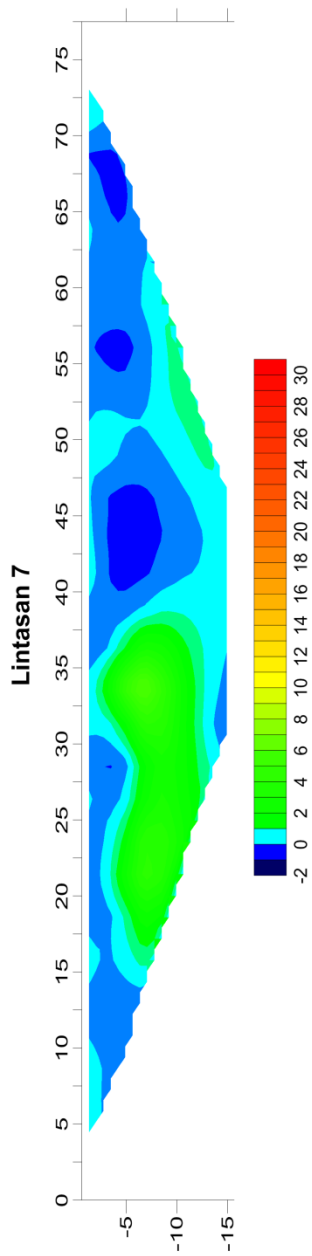
Gambar B-8 Penampang Beda Resistivitas (a) Lintasan 1, (b) Lintasan 2





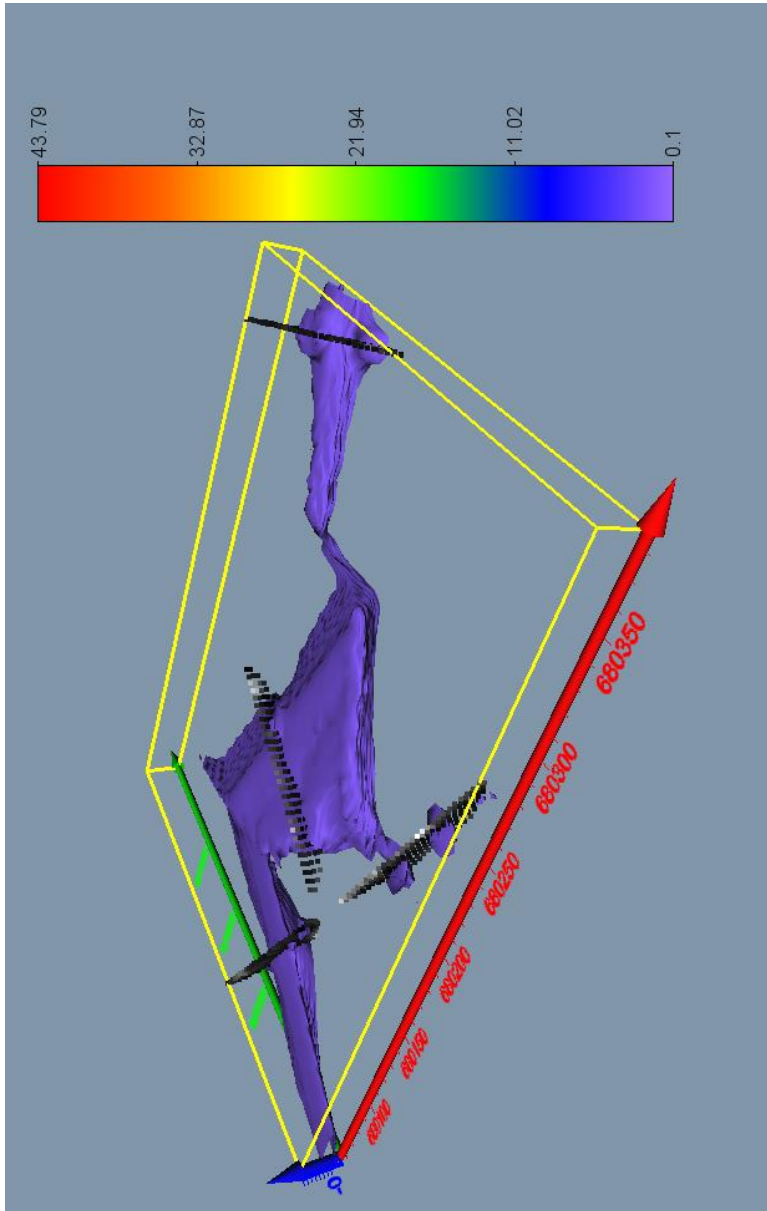


Gambar B-10 Penampang Beda Resistivitas (a) Lintasan 5, (b) Lintasan 6

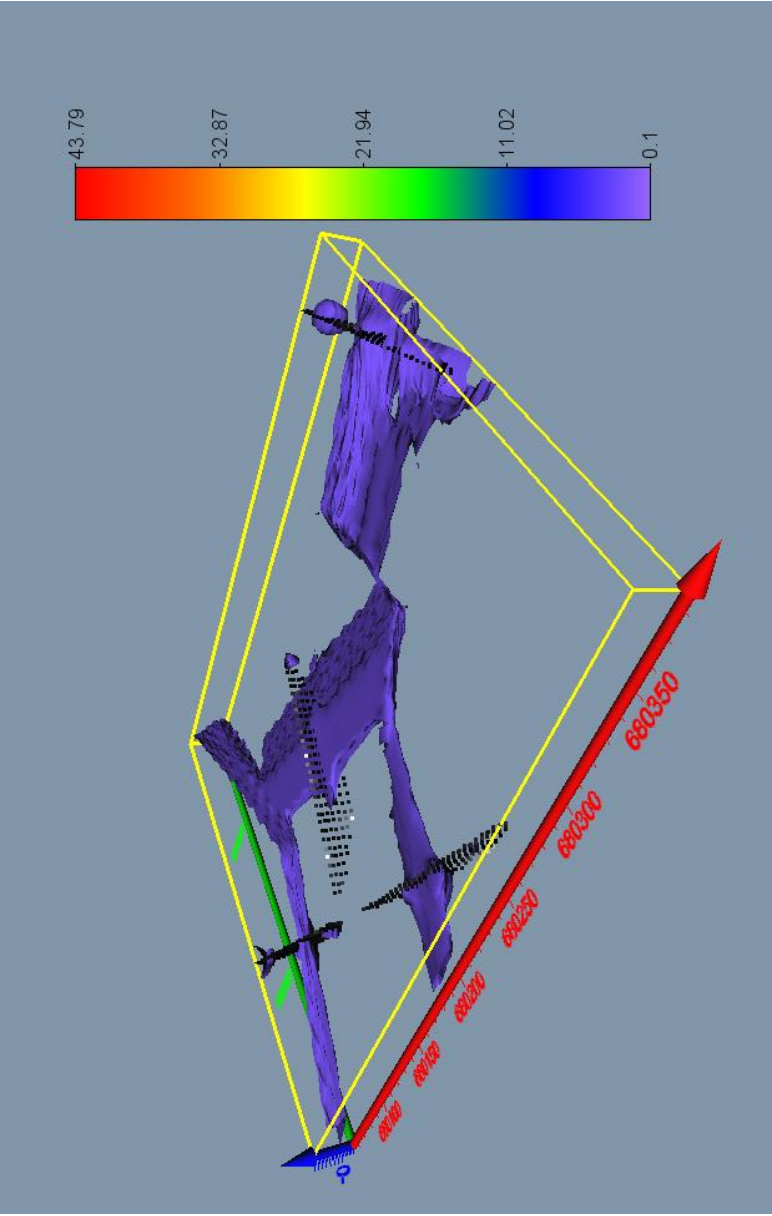


Gambar B-11 Penampang Beda Resistivitas Lintasan 7

- Data Penampang 3-Dimensi

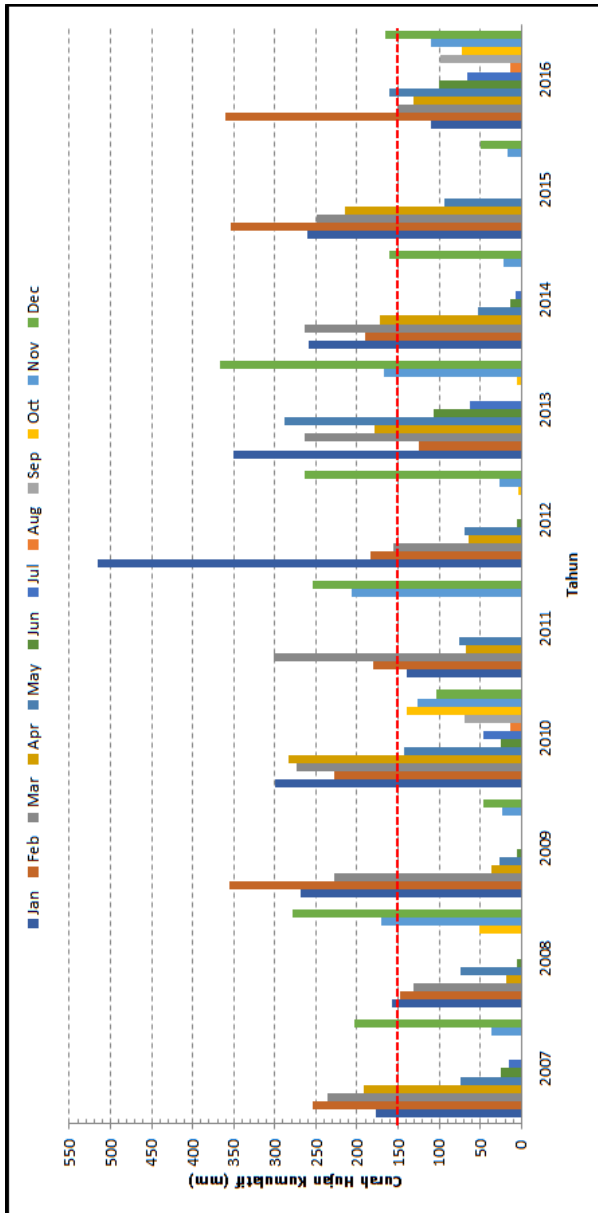


Gambar B-12 Penampang 3D Musim Kemarau



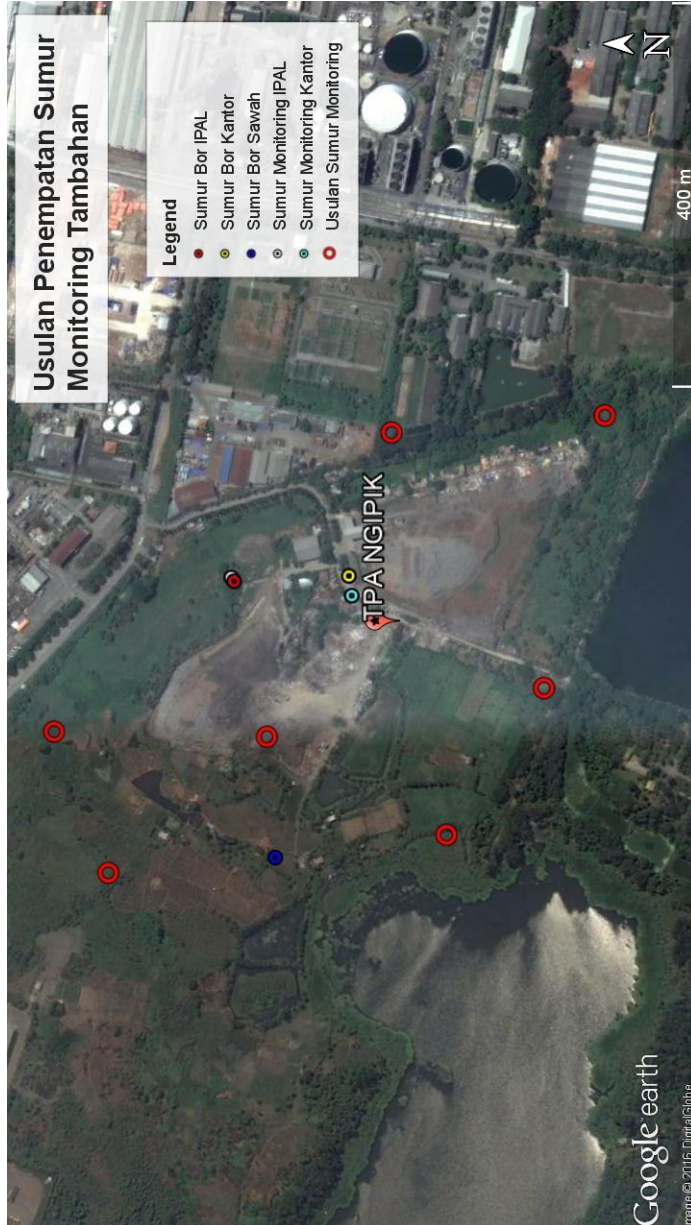
Gambar B-13 Penampang 3D Musim Penghujan

- Data Curah Hujan Tahun 2007 – 2016



Gambar B-14 Curah Hujan Kumulatif Tahun 2007-2016

- Usulan Penambahan Sumur Pantau



Gambar B-15 Usulan Penempatan Sumur Monitoring

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## BIODATA PENULIS



Ahmad Qomaruddin Arsyadi lahir di Jombang pada 10 Februari 1995 dan merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di MI Mujahidin Parimono (2001-2007), SMPN 2 Jombang (2007-2010) dan SMAN 3 Jombang (2010-2013). Penulis diterima di jurusan Teknik Geofisika ITS pada tahun 2013. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan diantaranya Staff Media dan Informasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS, Staff Kesejahteraan Anggota di UKM IBC ITS dan Koordinator MAHAGANA ITS. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan pelatihan, forum dan penelitian diantaranya Pelatihan Dasar Kebencanaan oleh MAHAGANA ITS,

Konferensi Nasional Pengelolaan Risiko Bencana Berbasis Komunitas [KN PRBBK] XI 2015 oleh MPBI, Fete de La Science 2015 oleh IFI, Temu Nasional Forum Mahasiswa Peduli Bencana oleh Humanitarian Forum Indonesia, BIMTEK Penanggulangan Bencana oleh BAKESBANGPOL LINMAS Kota Surabaya, penelitian tentang aplikasi Metode Geolistrik untuk memetakan Candi Dadi, dan Candi Belahan. Penulis juga pernah menjadi Koordinator Asisten Laboratorium Jurusan Teknik Geofisika ITS tahun 2016, Asisten Matakuliah Elektronika Dasar dan Asisten Matakuliah Eksplorasi Air Tanah. Prestasi yang pernah diraih oleh penulis yakni Juara 1 *Article Competition* pada acara Jogja Earthquake in Reflection JER 2016 dan Juara III MEGATHRUST 2016. Penulis memiliki passion dalam geofisika teknik dan lingkungan, serta kebencanaan. Apabila ingin berdiskusi lebih dalam terkait Tugas Akhir atau hal yang lain, dapat menghubungi penulis melalui alamat email [a.qomaruddin.a@gmail.com](mailto:a.qomaruddin.a@gmail.com) atau [ahmad13@mhs.geofisika.its.ac.id](mailto:ahmad13@mhs.geofisika.its.ac.id) serta melalui nomor telepon 08564877328.

Sekian dan terimakasih.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***